

**PERBANDINGAN EVALUASI RADIOGRAF FEMUR DAN  
TIBIAL TUNNEL SETELAH PENGGUNAAN  
INTERFERENCE SCREW YANG BERSIFAT BIOSTABLE  
DAN BIOABSORBABLE PADA REKONSTRUKSI  
ARTROSKOPIK ACL**

**KARYA AKHIR**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Spesialis

**Program Studi Spesialis-1**

**Pendidikan Dokter Spesialis Orthopaedi Dan Traumatologi**

Disusun dan diajukan oleh

**RANDY PRESLY OCTAVIANUS**

Kepada

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER SPESIALIS-1 (Sp.1)  
PROGRAM STUDI ILMU ORTHOPAEDI DAN TRAUMATOLOGI  
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2020**

**KARYA AKHIR**

**PERBANDINGAN EVALUASI RADIOGRAF FEMUR DAN TIBIAL  
TUNNEL SETELAH PENGGUNAAN INTERFERENCE SCREW YANG  
BERSIFAT BIOSTABLE DAN BIOABSORBABLE PADA  
REKONSTRUKSI ARTROSKOPIK ACL**

Disusun dan diajukan oleh :

**RANDY PRESLY OCTAVIANUS**

Nomor Pokok : C114215201

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Karya Akhir

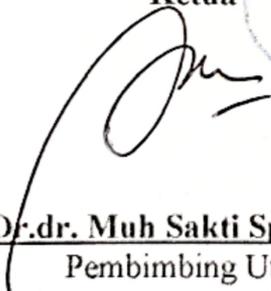
pada tanggal 28 Agustus 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui ,

**Komisi Penasihat**

Ketua

  
**Dr.dr. Muh Sakti SpOT (K)**  
Pembimbing Utama

Anggota

  
**dr. W. Supriyadi SpOT**  
Pembimbing Anggota

Manajer Program Pendidikan Dokter Spesialis  
Fakultas Kedokteran UNHAS

  
**Dr. Uleng Bahrun, Sp.PK(K), Ph.D.**  
NIP. 19680518 199802 2 001

a.n. Dekan,  
Wakil Dekan Bid. Akademik, Riset  
Dan Inovasi

  
**Dr. dr. Irfan Idris, M.Kes**  
NIP. 19671103 199802 1 001



## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Randy Presly Octavianus  
NIM : C114215201  
Program Studi : Ilmu Ortopedi dan Traumatologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Karya akhir yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan karya akhir ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2020

Yang menyatakan



METERAI  
TEMPEL  
TGL. 30  
55A9AAHF735209457  
6000  
ENAM RIBU RUPIAH

Randy Presly Octavianus

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas berkat dan penyertaannya penulis dapat menyelesaikan karya akhir ini yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan spesialis Ilmu Orthopaedi dan Traumatologi di Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. dr. Muh Sakti, Sp.OT (K) sebagai pembimbing I dan dr. W. Supriyadi SpOT sebagai pembimbing II, dan dr. Arifin Seweng, MS yang secara tulus bersedia menjadi pembimbing dengan arif dan bijaksana, menerima konsultasi dan memberikan bimbingan, serta saran-saran.

Terima kasih juga kepada dr. M. Ruksal Saleh PhD, Sp.OT(K) dan dr. M. Andry Usman, PhD, Sp.OT(K) selaku Tim penilai yang telah memberikan masukan dan pengarahan demi perbaikan karya akhir ini.

Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada

1. Kepala Departemen Orthopaedi dan Traumatologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin, dr. M. Ruksal Saleh PhD, Sp.OT(K), Ketua Program Studi, Dr. dr. Muhammad Sakti Sp.OT(K) dan seluruh staf pengajar yang telah mendidik dan memberikan arahan kepada penulis selama pendidikan.
2. Penasihat akademik, dr. Notinas Horas M.Kes SpOT(K) atas segala perhatian dan bimbingan yang telah diberikan selama ini.
3. Ketua TK-PPDS, Ketua Konsentrasi, Ketua Program Studi Biomedik, serta seluruh staf pengajar pada Konsentrasi Pendidikan Dokter Spesialis Terpadu Program Biomedik Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas bimbingannya selama penulis menjalani pendidikan.

4. Teman sejawat peserta PPDS-1 Orthopaedi dan Traumatologi atas bantuan dan kerjasamanya dalam proses pendidikan.
5. Paramedis Departemen Orthopaedi dan Traumatologi di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo dan seluruh Rumah Sakit jejaring pendidikan atas kerjasamanya selama penulis menjalani masa pendidikan.
6. Peserta yang telah bersedia ikut serta dalam penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan sebagaimana mestinya.
7. Orang tua terkasih Dr. Jack Johanis Octavianus SH. MH. dan Sal Selafehat Octavianus Samiun serta istri tercinta dr. Emma Novauli Hutabarat juga anak Viers Josaldy Octavianus dan Valerie Josalyn Octavianus atas doa, kasih sayang dan kesabaran, perhatian dan dukungan yang tidak putus-putusnya pada penulis.
8. Semua pihak yang namanya tidak tercantum namun telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan karya akhir ini.

Akhirnya penulis berharap semoga karya akhir ini dapat berguna bagi perkembangan Ilmu Orthopaedi dan Traumatologi.

Makassar, Agustus 2020



Randy Presly Octavianus

## ABSTRAK

**RANDY PRESLY OCTAVIANUS.** *Perbandingan Evaluasi Radiograf Femur dan Tibia Tunnel setelah Penggunaan Interference Screw yang Bersifat Biostable dan Bioabsorbable pada Rekonstruksi Artroskopik AGL* (dibimbing oleh Muhammad Sakti dan Wihelmus Supriyadi).

Penelitian ini bertujuan membandingkan ukuran tunnel pada tibia dan femur menggunakan x-ray setelah operasi ACL rekonstruksi yang menggunakan *interference screw biostable dan bioabsorbable*.

Studi ini merupakan studi prospektif acak. Rekonstruksi ACL dilakukan dengan menggunakan *graft single bundle* dari hamstring dengan *endobutton* sebagai fiksasi pada femoral. Untuk fiksasi pada tibia, Grup 1 menggunakan *screw biostable* dan Grup 2 menggunakan *screw bioabsorbable*. Perkembangan pelebaran tunnel femur dan tibia diukur pada waktu setelah operasi, 6 bulan dan 1 tahun setelah operasi menggunakan x-ray AP-Lateral dan dianalisis dengan menggunakan Chi Square test. Perbandingan pelebaran tunnel pada femur dan tibia pada kedua grup dianalisis dengan menggunakan Mann Wintney test.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tiap grup, perkembangan pelebaran tunnel pada post operasi, 6 bulan setelah operasi tidak terlalu signifikan secara statistik sedangkan perbedaan perbandingan pelebaran tunnel femur dan tibia antara kedua grup secara statistik berdasarkan Mann Whitney U-test terdapat perbedaan signifikan ukuran femur AP dan lateral pada 1 tahun post op diantara kedua kelompok (semuanya dengan  $p < 0,05$ ) dan terdapat perbedaan signifikan ukuran tibia AP dan lateral pada 1 tahun post op diantara kedua kelompok (semua dengan nilai  $p < 0,05$ ).

Kata kunci: *Pelebaran Tunnel Tibia, Pelebaran Tunnel Femur, Interference Screw biostable, Interference Screw Bioabsorbable*



## ABSTRACT

**RANDY PRESLY OCTAVIANUS.** *A Comparison of Evaluation Radiograph of Femoral Tibial Tunnel Event Following AGL Graft Reconstructions Using Biostable & Bioabsorbable Interference Screw Fixation* ( Supervised by **Muhammad Sakti** and **Wilhelmus Supriyadi** )

This research aimed to compared the femoral and tibial tunnel used x - ray in anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction treated with biostable & bioabsorbable interference Screw.

The study was a randomized prospective study. The ACL reconstruction was done with a single - bundle hamstring graft with endobutton fixation on the femur. For the fixation in the tibia, there are two groups, group one used a biostable screw and group two used a bioabsorbable screw. The tibial and femoral tunnel widening was followed and measured at post-operative , six months , and one year after the operation using knee AP and lateral x-ray and later were analyzed using the Chi-square test. The comparison between femoral and tibial tunnel widening on both groups was analyzed using the Mann•Whitney test

The study results in each group, the tunnel widening progression in the six months of post-operation, statistically are not significant. By using the Mann Whitney U – test statistically indicates that the comparison between group one and two on femoral tunnel widening show a significant difference in the AP and lateral radiograph of the femur (all with p score 0.05) and also significantly differ in AP and lateral radiograph of the tibia ( all with p score< 0,05) , with both seen at one year post-operative period

**Keywords** : Tibial tunnel widening femoral tunnel widening , biostable interference screw bioabsorbable interferences screw



## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	viii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	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
1.4.1. Manfaat Teoritis .....	4
1.4.2. Manfaat Klinis.....	4
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN</b> .....	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.1.1. Anatomi ACL.....	5
2.1.2. Biomekanik ACL .....	5

2.1.3. Cedera ACL.....	7
2.1.3.1. Epidemiologi dan insidensi .....	8
2.1.3.2. Patofisiologi cedera ACL.....	8
2.1.3.3. Diagnosis.....	9
2.1.3.4. Terapi.....	11
2.1.3.4.1 Terapi Konservatif ( Non operative ) .....	11
2.1.3.4.2 Operasi.....	12
2.1.4. Rekonstruksi ACL ( ACL Reconstruction) .....	13
2.1.4.1 Graft healing .....	13
2.1.4.2 Faktor yang mempengaruhi penyembuhan graft.....	14
2.1.4.3 Teknik Operasi .....	24
2.1.4.4 Rehabilitasi.....	29
2.1.5. Femoral & Tibial Tunnel Measures Post Rekonstruksi ACL .....	30
2.2. Kerangka Pemikiran.....	33
2.3. Hipotesis.....	33
<b>BAB III. BAHAN / OBJEK DAN METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1. Bahan / Objek Penelitian.....	35
3.1.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	35
3.1.2. Populasi Penelitian .....	35
3.1.3. Sampel Penelitian & Cara Pengambilan Sampel .....	35
3.1.4. Besaran Sampel .....	36
3.1.5. Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	36
3.1.6. Alat dan Bahan .....	36

3.2. Metode Penelitian.....	37
3.2.1. Desain Penelitian.....	37
3.2.2. Cara Kerja Penelitian.....	37
3.2.3. Alur Penelitian.....	39
3.2.4. Alokasi Subyek.....	40
3.2.5. Klasifikasi variabel.....	40
3.2.6. Defenisi Operasional .....	40
3.2.7. Analisis Statistik.....	41
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1. Hasil Penelitian.....	43
4.1.1. Perbandingan Fauno & Kallund Study.....	45
4.2. Pembahasan.....	48
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Teknik-teknik pengukuran tunnel pada x-ray .....	32
Tabel 4.1 Karakteristik rata-rata umur .....	43
Tabel 4.3 Karakteristik sebaran gender.....	44
Tabel 4.4 Karakteristik bagian lutut yang cedera .....	44
Tabel 4.5 Perbandingan Fauno & Kallund Study Tibia.....	45
Tabel 4.6 Perbandingan Fauno & Kallund Study Femur.....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Anatomi ACL.....	5
Gambar 2.2: Segond fracture, MRI pasien ACL .....	11
Gambar 2.3: Zona pada Inseri Graft .....	21
Gambar 2.4: Biostable dan Bioabsorbable Interference Screw .....	22
Gambar 2.5: Positioning dengan lateral post .....	24
Gambar 2.6: Harvesting Hamstring Graft.....	25
Gambar 2.7: Artroskopi ACL .....	26
Gambar 2.8: Tibial tunneling.....	27
Gambar 2.9: Femoral tunneling .....	28
Gambar 2.10: Pemasangan Graft .....	29
Gambar 2.11: Ilustrasi tehnik pengukuran x-ray .....	33

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Perbandingan Fauno & Kallund Study Tibia .....	28
Grafik 4.2	Perbandingan Fauno & Kallund Study Femur .....	30

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Cedera Anterior cruciate ligament (ACL) merupakan cedera yang umum dan yang sering terjadi saat berolahraga.<sup>1</sup> Operasi rekonstruksi ACL merupakan salah satu prosedur bedah yang paling sering dilakukan sehingga pasien dapat beraktifitas dan berolahraga kembali dalam waktu yang cepat.<sup>1,2</sup> Persentase keberhasilan operasi rekontruksi ACL terbilang cukup baik, namun pada beberapa kasus di laporkan gagal dan membutuhkan operasi revisi.<sup>1,2</sup>

Terdapat beberapa aspek dari teknik rekonstruksi ACL seperti posisi *femoral tunnel*, tipe *graft*, dan fiksasi *graft* yang sangat menarik karena hal ini sangat mempengaruhi hasil klinis.<sup>3</sup>

Kegagalan fiksasi *graft* di laporkan pada beberapa kasus di mana di temukan juga pelebaran pada tunnel femur atau tibia, sehingga beberapa litelatur mengatakan salah satu penyebab penting yang dapat menyebabkan kegagalan pada operasi rekontruksi ACL adalah pelebaran tunnel tersebut.<sup>2</sup>

Penyebab utama pelebaran dari tunnel setelah di lakukan rekontruksi ACL sampai saat ini masih di perdebatkan.<sup>2</sup> Dari beberapa literature menyimpulkan pelebaran pada tunnel di pengaruhi oleh beberapa factor antara lain fiksasi *graft* yang di pakai dan juga faktor mekanik dan biologic.<sup>4</sup>

Fiksasi *graft* sangat penting untuk stabilitas primer pada *graft*, tidak ada protokol rehabilitasi yang tepat yang dapat dimulai tanpa fiksasi yang adekuat.<sup>5,6</sup> Untuk fiksasi femoralis ada beberapa sistem fiksasi yang tersedia namun jenis fiksasi untuk tibia, *interference screw* merupakan jenis fiksasi yang masih paling banyak digunakan.<sup>6</sup>

Untuk beberapa tahun lamanya, *interference screw* dari material metalik merupakan standar baku emas pada fiksasi graft ACL.<sup>6</sup> Namun karena adanya kekurangan akibat timbulnya artifact pada MRI, adanya kemungkinan laserasi pada graft selama proses insersi ataupun pengangkatan implant, kerumitan saat pengangkatan implant, material baru untuk screw pun dikembangkan, dimana termasuk didalamnya yaitu material polymer yang bersifat bioabsorbable ( terdegradasi menjadi jaringan setempat ) dan biostable ( tidak terdegradasi ).<sup>6</sup>

Kelas kedua dari material *interference screw* (bioabsorbable) memiliki bahan dasar dari poly- L-lactic acid (PLLA), sebuah polimer yang kuat dan memiliki periode degradasi yang lama ( 2-5 tahun ). Dalam hal kekuatan fiksasi dan pull-out strength, material ini sangat bagus namun juga memiliki kelemahan yaitu adanya komplikasi yang berhubungan dengan relasinya terhadap jaringan sekitar tempat screw terfiksasi. Diantaranya adalah pembesaran tunnel, osteolysis, dan pembentukan cyst. Reaksi inflamasi dan pembentukan cyst merupakan komplikasi yang paling sering didokumentasikan. Dalam studi terbaru, tahun 2014 oleh Ramsingh dkk, komplikasi ini memiliki besaran 5 %, dan studi ini merekomendasikan untuk memperhatikan komplikasi ini pada penggunaan screw yang memiliki material yang bersifat bioabsorbable.<sup>7-8</sup>

Dari kelas biostable, polymer yang sering digunakan adalah polyetheretherketone (PEEK), sebuah polymer yang kaku, semicrystalline, yang memiliki ketahanan yang baik terhadap degradasi yang bersifat kimiawi dan termal serta memiliki properti mekanik yang sangat bagus. PEEK memberikan keunggulan yaitu menyediakan fiksasi yang stabil dan pencitraan post-operasi yang baik serta di lain pihak tidak memiliki komplikasi yang dihubungkan dengan degradasi polymer . Implant PEEK pada hewan coba, menunjukkan tidak adanya respon inflamasi akut dan sedikit inflamasi kronis.<sup>9</sup>

Masih banyak pertanyaan yang harus diklarifikasi pada aspek yang berhubungan dengan teknik fiksasi graft yang optimal dan properti material yang tepat pada operasi rekonstruksi ACL. Fiksasi graft dapat dilakukan baik dengan menggunakan *bioabsorbable interference screw* ataupun *biostable interference screw*.<sup>10,11</sup>

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan femoral tunnel dan tibial tunnel ACL dengan graft hamstring yang menggunakan bioabsorbable dengan biostable interference screw pada fiksasi tibia-nya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas maka timbul pertanyaan apakah ada perbedaan ukuran perbesaran femoral tunnel dan tibial tunnel pada pemakaian *bioabsorbable interference screw* dan *biostable interference screw* pada *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction* dinilai dari x-ray.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

### **1.3.1. Tujuan Umum**

Untuk mengetahui dan membandingkan ukuran perbesaran femoral tunnel dan tibial tunnel secara x-ray pada penggunaan *bioabsorbable interference screw* dengan *biostable interference screw* pada *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*.

### **1.3.2. Tujuan Khusus**

1. Untuk membandingkan ukuran femoral tunnel dan tibial tunnel menggunakan *measurement methods on anterior-posterior and lateral knee radiographs Fauno and Kaalund studi* pada

pasien yang menjalani *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction* menggunakan *bioabsorbable interference screw* dengan *biostable interference screw*.

2. Untuk membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yang telah dipublikasi di jurnal internasional.

## **1.4 Kegunaan Penelitian**

### 1.4.1. Kegunaan Teoritis

Memberikan konfirmasi ilmiah tentang perbandingan perbedaan ukuran perbesaran femoral tunnel dan tibial tunnel secara x-ray antara penggunaan *bioabsorbable interference screw* dengan *biostable interference screw* pada *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*.

### 1.4.2. Kegunaan Klinis

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan pengambilan keputusan para klinisi dalam penggunaan *graft fixation* pada *Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*, antara *bioabsorbable interference screw* dengan *biostable interference screw*.

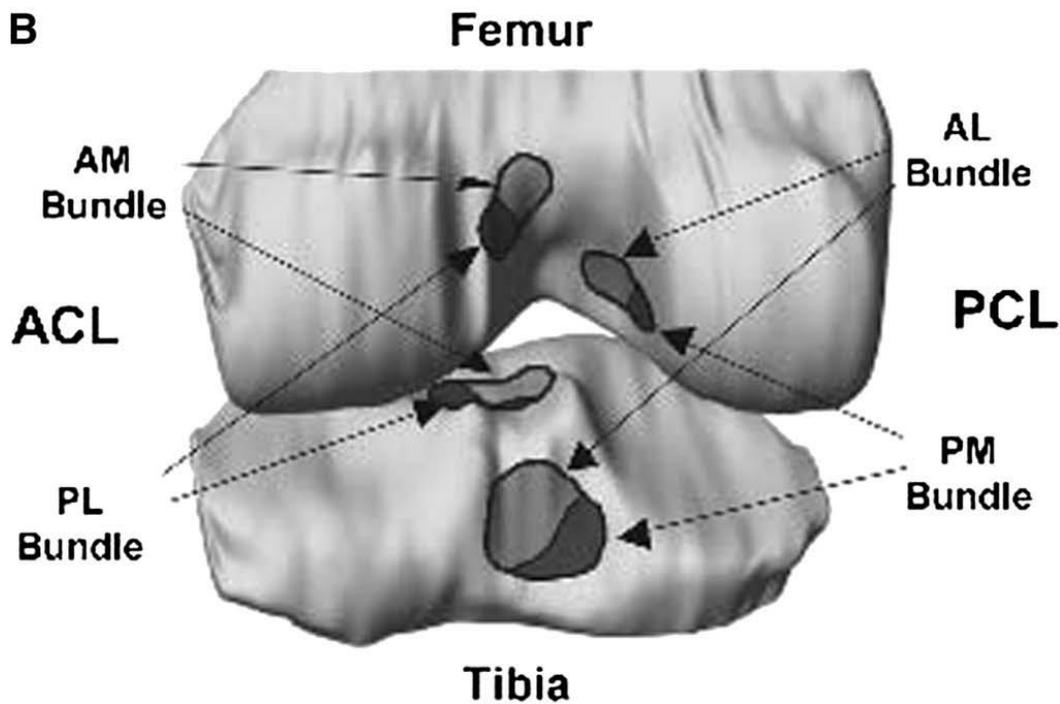
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

#### 2.1. KAJIAN PUSTAKA

##### 2.1.1. Anatomi ACL

Fungsi dari ligamen ACL yaitu mengontrol pergerakan anterior dari tibia dan menghalangi tibia agar tidak berputar secara ekstrim selama rentang gerak pada lutut. Pada umumnya, ACL terdiri dari 2 bundle yaitu posterolateral bundle (PL) dan anteromedial bundle (AM). Komponen ini didasarkan pada letak insersinya pada tibia. Kedua bundle ini berasal dari bagian posteromedial dari lateral femoral condyle dan berinsersi pada bagian anterior dari intercondylar tibial eminence.<sup>12</sup>



Gambar 2.1 Anatomi ACL ( Origo dan Insersio )<sup>10</sup>

Letak insersi ACL, walaupun lebar, pada tibia tetap membuat ligament ini tidak terjepit pada intercondylar notch saat lutut dalam ekstensi penuh.<sup>12,13</sup> Penempatan insersi graft ACL pada tibia selama proses operasi rekonstruksi ACL harus menganut prinsip ini. Rata-rata panjang dari AM bundle adalah 33 mm dan PL bundle adalah 18 mm .<sup>12,13</sup> Keseluruhan lebar dari ACL pada cadaver berkisar 7 mm sampai 17 mm dengan rata-rata 11 mm. Rata-rata luas area secara cross-sectional pada ACL yaitu 36 mm<sup>2</sup> dan 47 mm<sup>2</sup> pada perempuan dan laki-laki secara berurut.<sup>12,13</sup>

Ligamen ACL terdiri dari fiber kolagen tipe I. Diseksi oleh Giuliani dkk menemukan bahwa sumber perdarahan primer pada ligamen ini berasal dari arteri middle genicular. dan ditambah dengan sumber perdarahan yang berasal dari arteri genicular inferomedial dan inferolateral. Pada ACL juga terdapat beberapa mechanoreseptor yaitu : Ruffini corpuscles, pacinian corpuscles, Golgi-like organs, dan free nerve ends.<sup>14</sup>

### **2.1.2. Biomekanik ACL**

Gaya yang ditransmisikan oleh ligament ACL saat pergerakan lutut sangat bervariasi sesuai dengan posisi lutut. Untuk mereplikasi secara in situ besaran strain yang berhubungan dengan ACL, Gabriel dkk melakukan tes pada ACL dengan memberikan gaya pada anterior yang dikombinasikan dengan gaya rotasi pada sisi medial untuk menekan sudut valgus dan torsi internal tibia untuk meng-alokasikan gaya yang diterima oleh PL dan AM menggunakan system robotic pada 10 kadaver lutut. Gaya terbesar yang diterima oleh AM bundle berada pada kisaran saat lutut dalam posisi fleksi 60 dan 90 derajat. Pada PL bundle, gaya terbesar berada pada posisi ekstensi penuh dari lutut. Pada posisi fleksi 15 derajat, tidak ada perbedaan transmisi gaya yang signifikan pada lutut antara AM dan PL bundle. Pada flexi yang lebih besar dari itu, AM bundle menerima transmisi gaya yang lebih besar secara signifikan dibandingkan PL bundle.<sup>15</sup>

Studi lain yang menggunakan kadaver lutut menemukan bahwa bundle PL menerima gaya yang lebih besar secara keseluruhan dibandingkan dengan bundle AM yang berhubungan dengan gaya anterior pada tibia, sedangkan gaya secara in situ pada bundle AM relative konstan dan tidak terpengaruh oleh perubahan derajat fleksi dan gaya dari anterior ini. Gaya in situ pada bundle PL berhubungan dengan perubahan ACL pada keseluruhan gerakan fleksi lutut.<sup>15</sup> Hal ini menunjukkan bahwa selama proses rekonstruksi ACL, rekonstruksi bundle PL sangat penting dan sebaiknya dilakukan sebaik mungkin dibandingkan dengan bundle AM. Karena kebanyakan cedera ACL terjadi saat lutut dalam keadaan ekstensi penuh, bundle PL memiliki peranan stabilitas biomekanik yang sangat penting secara keseluruhan sehingga rekonstruksi pada bundle ini sangat penting dihubungkan dengan besarnya gaya yang diterima PL bundle saat posisi ekstensi penuh.<sup>15,16,17</sup>

Berdasarkan temuan diatas, tampaknya bundle AM dan PL memiliki kontribusi yang unik pada transmisi gaya pada lutut. Tindakan bedah rekonstruksi harus mengembalikan kemampuan ACL dalam membatasi translasi tibia ke anterior semirip mungkin dengan ACL yang normal . Bagaimanapun, pergerakan rotasi yang kompleks seperti rotasi internal dan valgus, umumnya sulit didapatkan setelah prosedur rekonstruksi ACL. Tampaknya, rekonstruksi yang menitikberatkan pada rekonstruksi bundle AM tidak dapat mengembalikan fungsi dan stabilitas sendi lutut. Karena bundle PL menerima transmisi gaya yang lebih besar pada keadaan ekstensi lutut penuh atau pada flexi 15 derajat, terutama terhadap gaya rotasi, dan bundle AM menerima transmisi gaya saat lutut pada posisi fleksi diatas 30 derajat, teknik operasi rekonstruksi haruslah mengikuti prinsip yang harus dicapai pada kedua bundle ini.<sup>18</sup>

## **2.1.3 Cedera ACL**

### **2.1.3.1 Epidemiologi dan insidensi**

Di Amerika Serikat, cedera ACL berjumlah 100.000 – 200.000 per tahun, yang membuat cedera ligament ini menjadi cedera ligament yang terbanyak.<sup>19,20,21,22,23</sup> Angka ini semakin bertambah baik secara umum maupun secara khusus pada individu yang bermain olahraga. Pemain bola menyumbang jumlah cedera ligament ACL terbanyak ( 53 % dari keseluruhan ) disamping atlet ski dan gimnastik.<sup>19,24,25</sup>

### **2.1.3.2 Patofisiologi cedera ACL**

Kejadian cedera ligament ACL terjadi lebih tinggi pada wanita dibandingkan pada pria.<sup>26,27,28</sup> Di United States Naval academy, wanita yang bermain sepakbola, bola basket dan rugby, memiliki resiko relative terkena cedera ligament ACL sebesar 3,96 dibandingkan dengan pria. The National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance (1990-2002) menemukan bahwa besaran cedera ligament ACL, tanpa memperhitungkan mekanisme cedera, secara signifikan lebih besar pada atlet wanita dibandingkan atlet pria yang mengikuti olahraga sepakbola dan bola basket.<sup>29</sup> Semakin kuat otot quadriceps semakin besar dan kuat ligament ACL-nya. Walaupun hal ini berbeda pada setiap individu, namun besar dan kuatnya otot quadriceps menyebabkan besarnya ACL juga bertambah. Otot quadriceps walaupun telah diukur berdasarkan perbedaan berat badan dan body mass, tetap lebih besar pada atlet pria dibandingkan wanita.<sup>26</sup>

. Ada beberapa faktor secara biomekanik dan neuromuskuler yang dihubungkan dengan cedera ligament ACL. Dibandingkan dengan berlari, terdapat peningkatan beban pada ACL yang signifikan pada gerakan sidestapping dan gerakan crossover cutting.<sup>30</sup> Hal ini merupakan akibat

dari besarnya gaya yang didapat ligament ACL pada gerakan varus/valgus dan rotasi internal/eksternal. Peningkatan gaya ini pada gerakan cutting menyebabkan ACL rentan cedera, terutama saat lutut dalam posisi fleksi antara 0-40 derajat. Strategi aktivasi otot yang sesuai dapat melawan peningkatan gaya pada gerakan ini. Sebuah proyek yang bertujuan dalam implementasi untuk melatih neuromuskuler pada pemain sepak bola dan bola tangan menunjukkan adanya peningkatan kegiatan electromyography pada otot medial hamstring yang menyebabkan penurunan gaya saat posisi valgus.<sup>31</sup>

Penyempitan “Notch” dapat berkontribusi pada meningkatnya kejadian cedera ligament ACL. Notch width index (NWI) telah digunakan sebagai alat ukur untuk menilai penyempitan notch ( notch stenosis). NWI adalah rasio antara lebar intercondylar notch dengan lebar distal femur pada level popliteal groove. Pada sebuah studi, rerata NWI pada lutut normal adalah 0.2338, pada cedera ligamen ACL akut NWI-nya adalah 0.2248; dan pada cedera ACL pada kedua lutut adalah 0.1961.<sup>32</sup>

Pada sebuah studi dari 895 kadet tentara Amerika yang di-follow-up selama lebih dari 4 tahun, femoral notch yang kecil merupakan faktor resiko yang signifikan pada kejadian cedera ligament ACL pada pria dan wanita, dan body mass index merupakan factor yang signifikan pada wanita.<sup>32</sup>

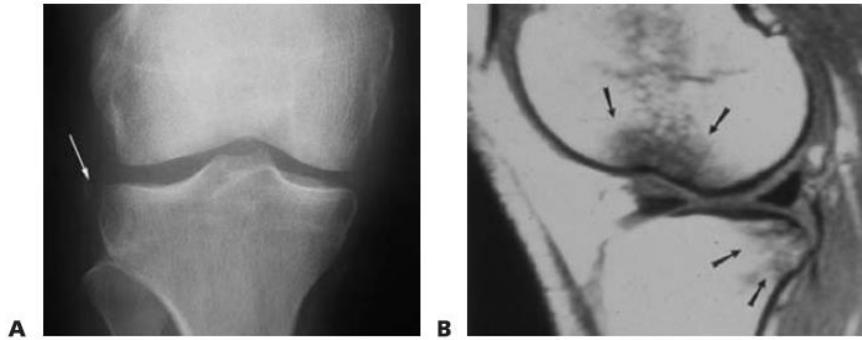
### **2.1.3.3 Diagnosis**

Penyebab cedera ACL yang paling sering adalah deselerasi non-kontak, lompat, cutting (tiba-tiba berhenti dan berubah arah), dan sering kali melibatkan perubahan arah gerak. Hal ini seringkali terjadi pada gerakan yang melibatkan gerakan memutar atau lutut menekuk ke arah lateral hingga menjadi posisi valgus dimana posisi lutut ekstensi dan tibia rotasi.<sup>33,34</sup>

Apabila cedera ACL berasal dari kontak langsung, terjadi pada 1 dari 3 pasien, biasanya disebabkan adanya riwayat hiperekstensi atau “valgus stress” pada lutut. Suara “pop” seringkali dapat didengar atau dirasakan oleh pasien. Bengkak setelah cedera biasanya muncul sekitar 4 jam dan pada aspirasi didapatkan hemarthrosis.<sup>35</sup>

Pemeriksaan fisik seringkali sudah dapat menegakkan diagnosis cedera ACL, terutama bila pemeriksaan dilakukan segera setelah cedera, sebelum bengkak, nyeri dan spasme otot terjadi. Stabilitas anterior lutut dinilai dengan Lachman test<sup>35,36</sup>

Lachman test dilakukan dengan fleksi lutut 20-30 derajat, paha distabilisasikan dengan satu tangan, tangan lainnya menggerakkan proksimal tibia, anterior laxity dinilai sesuai dengan derajat translasi anterior tibia terhadap femur. Pemeriksaan ini harus dibandingkan dengan lutut yang sehat. Lachman test memiliki sensitivitas 85% dan spesifisitas 94% untuk kasus ruptur ACL. KT 1000 arthrometer (alat untuk mengukur pergeseran anterior-posterior sebelum dan setelah operasi dan “side-to-side laxity” lutut juga digunakan untuk mengukur ACL laxity.<sup>36</sup> Bagaimanapun, kegunaan alat ini terbatas pada saat keadaan akut, ketika nyeri dan spasme otot sudah muncul. Alat ini mungkin akan lebih berguna untuk melihat hasil operasi baik intraoperatif dan post operatif. Foto polos akan menyingkirkan adanya fraktur, “loose bodies”, penyakit degeneratif, pembentukan osteofit, dan lainnya. Foto polos mungkin juga dapat digunakan untuk menegakkan Segond fracture atau fraktur avulsi dari kapsul lateral yang merupakan temuan patognomonik pada kasus robeknya ACL.<sup>37</sup>



Gambar 2.2 : A. Second fracture ( fraktur avulsi lateral kapsul ). B. MRI pada pasien dengan cedera ACL dihubungkan dengan bone bruise.

Penggunaan arthroscopy sebagai standar baku emas dan magnetic resonance imaging (MRI) memiliki spesifisitas 95% dan sensitivitas 86% dalam mendiagnosis cedera ACL. MRI dapat menggambarkan kedua bundle utama pada ACL, yang merupakan informasi penting untuk operasi rekonstruksi bila menggunakan teknik double-bundle.<sup>38</sup>

#### **2.1.3.4 Terapi**

Terlepas dari tatalaksana operatif ataupun non-operatif yang akan dilakukan, pasien harus disarankan untuk melakukan kompres es, memberikan kompresi, elevasi, dan membatasi penggunaan lutut setelah cedera. Apabila cedera pada ACL mempengaruhi struktur lutut itu sendiri, termasuk meniscus, PCL, ligament kolateral medial ataupun lateral, maka tindakan operatif perlu dilakukan.<sup>18</sup>

##### **2.1.3.4.1 Terapi Konservatif ( Non operative )**

Beberapa pasien dengan cedera ACL mungkin tidak akan menjalani tindakan operasi karena adanya penyakit komorbid serius seperti jantung, ginjal, atau penyakit liver atau mereka

memang tidak akan mengikuti kegiatan fisik yang berat lagi. Pasien yang memilih terapi konservatif, fisioterapi dengan fisioterapi yang ahli, atau pelatih atletik dengan tujuan memperkuat otot sekitar lutut, terutama *quadriceps femoris* dan *hamstring*, harus diutamakan. Meskipun begitu, perbaikan tanpa operasi lutut secara umum tetap tidak stabil dan rentan terhadap cedera di kemudian hari.<sup>23</sup>

Studi jangka panjang menunjukkan peningkatan yang signifikan pada tingkat kerusakan meniscus dan kartilago artikular terkait dengan tindakan rekonstruksi ACL yang ditunda.<sup>39</sup> Tingkat kesembuhan pada robekan meniscus akan lebih cepat bila bersamaan dengan dilakukannya rekonstruksi ACL, dan sebaliknya bila tanpa rekonstruksi ACL.<sup>23</sup> Secara umum, sekitar 1 dari 3 pasien memilih terapi konservatif dapat menyelesaikan tahapan terapi tanpa membutuhkan intervensi bedah. Sedangkan, pasien dengan tingkat aktifitas olahraga yang tinggi menunjukkan hasil yang kurang baik setelah terapi konservatif.<sup>40</sup>

#### **2.1.3.4.2 Operasi**

Karena seringnya terjadinya kegagalan pada pendekatan non operatif untuk kasus cedera ACL, tindakan bedah menjadi pilihan terapi hampir pada semua kasus atlet yang masih ingin aktif. Sayangnya, tidak semua operasi berhasil. Beberapa masalah yang muncul pada rekonstruksi ACL adalah graft/transplan terjepit pada roof intercondylar, graft tension, penempatan femoral dan tibial tunnel yang tidak anatomis ( tidak mereproduksi karakter histologis dan biomekanis seperti pada ligamen asli), dan replikasi ACL intak yang tidak sempurna, khususnya kegagalan pada rekonstruksi bundle PL.<sup>16,17</sup>

Meskipun setelah dilakukan tindakan ini, 15% sampai 25% pasien setelah rekonstruksi ACL masih merasakan nyeri dan ketidakstabilan pada lutut mereka.<sup>41</sup>

Seringkali, ketika rekonstruksi dilakukan, terdapat beberapa robekan ACL yang tersisa yang dapat diangkat atau ditinggalkan. Apabila robekan ligamen dibiarkan, dapat mempengaruhi visualisasi selama operasi dan mungkin dapat mempengaruhi kualitas rekonstruksi.<sup>14</sup>

Pada 1% sampai 9.8% dari rekonstruksi, impingement atau lesi cycloclip (fokal nodul dari jaringan fibrosa yang terletak antara anterior intercondylar notch dan ACL yang direkonstruksi) dapat terjadi bila robekan dari ACL dibiarkan di dalam.<sup>39</sup> Namun, bila robekan ACL dibiarkan, mekanoreseptornya dapat membantu reinnervasi. Neuron sensorik yang terlibat dalam kinestesi pada robekan ACL juga mungkin dapat dipertahankan.<sup>14</sup>

Telah ditemukan bahwa ACL berfungsi sebagai organ sensori, bukan hanya menyediakan umpan balik proprioseptif, tetapi juga memprakarsai perlindungan dan stabilisasi terhadap refleks otot.<sup>14</sup> Terdapat sebuah penelitian pada pasien yang telah menjalani operasi dalam 3 bulan hingga 3.5 tahun setelah cedera ACL yang masih memiliki robekan ACL. Grup pertama robekan ACL beradaptasi dengan PCL, dan terkadang beradaptasi dengan jaringan parut yang berhubungan dengan femur, sedangkan grup kedua memiliki “free floating”. Pada grup pertama, ditemukan mekanoreseptor ruffini dan paccini, dan pada 1 pasien terdapat golgi-like organ.<sup>14</sup> Pada grup kedua, tidak ditemukan mekanoreseptor. Apabila reinnervasi pada ACL menyebabkan pemulihan pada kinestesia dan apabila sisa robekan ACL yang tertinggal tidak berisiko impingement pada biomekanik post rekonstruksi, sepertinya akan bermanfaat.<sup>14</sup>

## **2.1.4 Rekonstruksi ACL ( ACL Reconstruction)**

### **2.1.4.1 Graft healing**

Segera setelah implantasi *graft*, respons inflamasi akan terjadi. Neutrofil dan makrofag akan muncul pada permukaan tulang-tendon pada 4 hari pertama setelah operasi dan setelah 4 hari

operasi makrofag teridentifikasi. Sel-sel ini kemudian secara progresif akan mengisi tendon graft dan memproduksi sitokin, termasuk *transforming growth factor- $\beta$*  (TGF- $\beta$ ) ikut membantu dalam pembentukan jaringan fibrosa diantara graft dan tulang.<sup>42,43</sup>

Setelah 6 minggu, transplant/graft secara sempurna sudah ditutupi oleh kantung sinovial vaskular, dan setelah 20 minggu vaskularisasi intrinsik transplant/graft sudah sempurna. Revaskularisasi graft berasal sebagian besar dari infrapatellar fat pad, jaringan sinovial posterior dan pembuluh darah endosteal didalam tunnel femur dan tibia.<sup>42,43,44</sup>

Bagian intra-artikular dari graft terlihat dapat bertahan pada proses revaskularisasi awal. Rougraff dan Shelbourne menunjukkan biopsi pada bagian tengah dari BTB autograft di subjek manusia, tidak terdapat nekrosis dan vaskularisasi grafts 3 minggu setelah rekonstruksi.<sup>45</sup> Kejadian sebagian graft nekrosis ini tidak terjadi pada soft-tissue graft. Menggunakan anjing dan domba sebagai hewan percobaan, Rodeo et al. dan Goradia et al. tidak mendapatkan nekrosis pada soft-tissue autograft seperti pada ekstensor digitorum longus dan tendon harmstring.<sup>46</sup>

Pada hewan percobaan kelinci menggunakan autograft flexor digitorum longus ditemukan bahwa tidak terjadi proliferasi pada sel intrinsik tendon. Meskipun tidak dilaporkan adanya jaringan nekrosis, sel-sel ini mungkin tidak berkontribusi pada proses penyembuhan awal. Fase remodelling dari bagian intra-articular dari graft ditandai dengan penggantian “large-collagen fibril” dengan “small-fibril”.<sup>47</sup>

Mengacu pada istilah “ligamentisasi” untuk menjelaskan perubahan histologi dari graft tendon ketika ditanamkan untuk menggantikan ACL. Pada hewan percobaan kelinci, Amiel et al. menunjukkan bahwa autograft patellar tendon secara bertahap akan sama dengan ACL asli secara histologi. Misalnya setelah 30 minggu, persentase kolagen tipe III meningkat menjadi 10% dalam graft, sebanding dengan ACL normal. Kandungan glikosaminoglikan dan kolagen

juga seperti pada ACL asli. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa bahkan pada tendon tikus asli, kolagen tipe III ekspresinya lebih tinggi pada tendon patella yang mengalami in-situ frozen-thawed. Kemungkinan terjadinya kedua repopulasi sel pada graft dan lingkungan biomekanik bertanggung jawab atas perubahan histologis ini. Selama proses penyembuhan, jaringan graft secara bertahap akan melemah diikuti penurunan sifat struktural termasuk kekakuan dan *ultimate failure load*.<sup>48</sup> Menggunakan model intrartikuler primata, tingkat kekakuan dan *ultimate failure load* graft pada minggu ke-7 menunjukkan penurunan hingga 16-24% dibandingkan ACL kontrol. Pada tahun pertama, sifat bagian intraartikular graft menjadi 39% dari ultimate failure load ACL kontrol dan 57% dari tingkat kekakuan ACL kontrol, namun tidak sepenuhnya menjadi ACL kontrol. Sejauh penelitian yang sudah ada, belum ada graft yang dapat menjadi seperti aslinya pada saat implantasi.<sup>49</sup>

#### **2.1.4.2 Faktor yang mempengaruhi penyembuhan graft**

##### **2.1.4.2.1 Tipe graft**

###### **Autograft**

Meskipun hasil akhir dari berbagai jenis autograft sebanding, kecepatan dan sifat dari proses penyembuhan autografts masing-masing berbeda. Beberapa hewan percobaan menunjukkan penggabungan yang lebih lambat terhadap bone-tunnel dengan soft-tissue grafts dibandingkan dengan bone-plug graft seperti bone-patellar tendon bone (BTB).<sup>50</sup>

Penggabungan soft-tissue graft (extensor digitorum longus) ke bone-tunnel dapat terlihat jelas pada hewan percobaan anjing. Pada 2 minggu awal, pembentukan serat kolagen antara tendon dan tulang terjadi secara progresif dimana terlihat jaringan fibrosa pada permukaan. Pada minggu ke 12, serat kolagen menyerupai *Sharpey fiber* yaitu semacam serat yang masuk langsung ke tulang. Adanya serat ini berhubungan dengan

peningkatan kekuatan graft, dimana hampir semua graft gagal pada uji penarikan pada tunnel sebelum 12 minggu dan gagal pada mid-substance atau clamp-site setelah 12 minggu.<sup>50</sup>

Menggunakan intra-artikular anjing, Tomita et al. mencari perbedaan hasil histologi dan biomekanikal pada 2 jenis autograft. Hewan yang sama menjalani ACL rekonstruksi dengan BTB graft pada 1 lutut dan fleksor digitorum superfisialis (FT) pada lutut satunya. Pada 12 minggu, bone-plug sudah secara utuh menyatu dengan jaringan tulang. Pada 3 minggu awal, kemungkinan gagal pada BTB graft lebih tinggi dibandingkan FT graft, namun pada minggu 6 dan 12, tidak ada perbedaan yang signifikan diantara keduanya. Perbedaan dalam proses penyembuhan antara bone-plug dan soft-tissue graft juga dievaluasi dengan hewan percobaan kambing.<sup>50</sup> Bagian soft-tissue dari tendon patellar autograft dimasukkan ke dalam tibial-tunnel sedangkan bone-plug dimasukkan kedalam femoral. Pada bone-to-bone tunnel, menunjukkan penyatuan yang lengkap pada minggu ke-6, sedangkan pada tendon-bone tunnel, menunjukkan penyatuan yang tidak lengkap meskipun terdapat sharpey's fiber. Meskipun beberapa hewan percobaan berbeda digunakan, hasil yang hampir sama menunjukkan bahawa soft-tissue graft lebih lambat bergabung dibanding bone-plug graft.<sup>50,51</sup>

Menariknya, meskipun bone-plug graft menunjukkan secara histologi menyatu pada minggu ke-6 sampai 8, kekakuan dan ultimate failure load menurun hingga ke nilai paling rendah dari ACL kontrol.<sup>51</sup> Inseri dari tendon patellar terdiri dari 4 zona (tendon, fibrokartilago, mineralized fibrocartilage, dan tulang) dan mirip dengan inseri normal dari ACL. Beberapa penulis berpikir, hal ini merupakan keuntungan dari BTB graft dibanding soft-tissue graft.<sup>50,51</sup> Menggunakan BTB autograft pada hewan percobaan anjing, Yoshiya et al. menunjukkan

bahwa struktur lokasi insersi patellar tendon pada minggu ke 12 menyerupai insersi normal pada ACL asli.<sup>52</sup>

### **Allograft**

Dalam usaha untuk mengeliminasi morbiditas pada donor site dan mengurangi waktu operasi, allograft menjadi pilihan pada rekonstruksi ACL.<sup>53</sup>

Menggunakan hewan percobaan anjing, Shino et al. menunjukkan tidak ada perbedaan antara patellar tendon allograft ataupun autograft yang telah dibekukan (-20°C) dalam proses revaskularisasinya. Pada minggu ke-30, rata-rata maksimal kekuatan keduanya sudah sebanding. Nikolau et al menggunakan ACL allograft yang di-cryopreserved (-80°C) pada anjing dan tidak menemukan adanya perbedaan pada kecepatan revaskularisasi, dan secara struktural ataupun biomekanismenya seperti beban kegagalan ataupun kekakuan jaringan bila dibandingkan dengan ACL autograft. Sebaliknya, pada penelitian lain, sifat penyembuhan dari ACL autograft dan allograft tidak dapat dijabarkan.<sup>54</sup>

#### **2.1.4.2.2 Penempatan Graft ( Graft Placement )**

Meskipun sudah diketahui bahwa tunnel misplacement merupakan salah satu penyebab utama kegagalan pada allograft dan autograft pada operasi ACL, penempatan tunnel yang tepat masih menjadi perdebatan dan belum ada konsensus untuk menentukan lokasi yang tepat. Penempatan tunnel yang anatomis sangat penting untuk mencapai loading fisiologis pada graft, mencegah overstretching , membantu proses penyembuhan dan mengembalikan stabilitas lutut. Pentingnya penempatan graft ditempat yang tepat menjadi hal yang diutamakan pada penelitian retrospective analysis pada beberapa hewan coba. Pada studi tersebut ditemukan ada hubungan yang signifikan secara statistik antara translasi anterior-posterior tibia dengan area cross-

sectional graft. Grood et al. menemukan bahwa graft yang kendur menjadi pelindung tekanan oleh struktur lutut lainnya, yang secara *invivo* mengurangi beban mekanis. Hal ini juga mengurangi metabolisme seluler yang menyebabkan cross-sectional area menjadi kecil.<sup>55</sup>

Stress mekanis memiliki peran dalam proses penyembuhan. Dengan menggunakan hewan coba, tendon extensor digitorum longus ditransplantasikan ke tibial bone-tunnel tegak lurus terhadap sumbu tulang. Sebagai hasilnya, bagian proximal dari graft-tunnel menerima stress tensil dan bagian distal menerima stress compressive. Stress tensil menunjukkan perbedaan proses penyembuhan dengan terdapat lebih banyaknya sharpey's fiber pada fase awal dan perkembangan penyembuhan pada 4 zona setelah 6 bulan, sedangkan pada bagian distal yang menerima stress compressive menunjukkan pembentukan kondroid dan woven bone (anyaman tulang muda). Tekanan tensile and compressive ini tentunya berhubungan dengan tunnel placement (penempatan tunnel) dan tunnel direction (arah tunnel). Oleh karena itu, ketika penempatan graft/tunnel berbeda, pengaruh dari tekanan tensile and compressive pada penyembuhan graft juga perlu dievaluasi. Eksplorasi menggunakan hewan coba tentang perbedaan pada proses penyembuhan ketika rekonstruksi anatomical dan non anatomical dilakukan, dapat memberikan informasi penting mengenai efek tunnel graft pada proses penyembuhan.<sup>56</sup>

Penempatan femoral-tunnel telah terbukti penting, karena perbedaan kecil pada penempatan graft memiliki efek besar pada kerapatan dan pola tekanan selama rentang pergerakan sendi lutut. Juga, secara anatomis penempatan femoral graft memberikan keuntungan dalam hal kontrol translasi tibia anterior yang lebih baik terhadap tekanan anterior and rotasi pada tibia. Meskipun diketahui, rekonstruksi ACL dengan single bundle tidak mengembalikan kinematis lutut ke normal, rekonstruksi ACL saat ini berusaha menempelkan graft pada insersi

anatomisnya, telah membuat beberapa ahli bedah memindahkan femoral tunnel lebih ke bawah dari *notch* ( posisi jam 9-10 ) dan mengganti 2 bundle ligament ACL. Saat ini, sedikit diketahui mengenai proses penyembuhan pada graft pada rekonstruksi ACL double bundle. Cho et al. menemukan perbandingan rekonstruksi ACL double dan single bundle menggunakan hamstring autograft. Mereka menemukan bahwa diameter serat kolagen pada kelompok double bundle lebih besar dibandingkan kelompok single bundle. Berdasarkan temuan histologi, peneliti menduga bahwa kekuatan terhadap tekanan mungkin lebih baik pada kelompok double bundle, namun hal ini masih memerlukan uji mekanis. Meskipun banyak informasi mengenai biomekanis pada penempatan graft yang berbeda pada model cadaver, masih ada perbedaan yang cukup besar antara hasil *ex vivo*.<sup>57</sup>

#### **2.1.4.2.3 Graft tensioning**

Secara klinis, tensioning optimal dari graft yang diterapkan selama fiksasi masih belum diketahui. Beberapa penelitian membandingkan efek dari beberapa graft tensioning terhadap proses penyembuhan dan sifat biomekanikal dari graft, dan terdapat ketidaksamaan pada efek dari initial graft tension diantara penelitian tersebut. Pemberian graft tensioning awal (17.5 dengan 1N) menghasilkan peningkatan pull-out force dan stiffness pada 32 minggu post operasi pada hewan coba kelinci. Pada sisi lain, menggunakan hewan coba anjing, membandingkan beban 1 versus 39 N selama fiksasi graft dan tidak ditemukan perbedaan setelah 3 bulan dalam hal laxity dan kekuatan mekanis dari graft.<sup>58</sup>

Namun, pemeriksaan histologi menunjukkan vaskularisasi yang kurang baik dan degenerasi fokal myxoid pada 39 N pre-tensioned graft. Tekanan yang memadai dalam rentang waktu yang pendek, dapat mencegah rusaknya graft. Namun, saat ini rentang tekanan tersebut

belum diketahui. Untuk menentukan tekanan optimal yang harus diaplikasikan pada graft diperlukan studi ultra-struktural, biokimia dan biomekanis.<sup>58</sup>

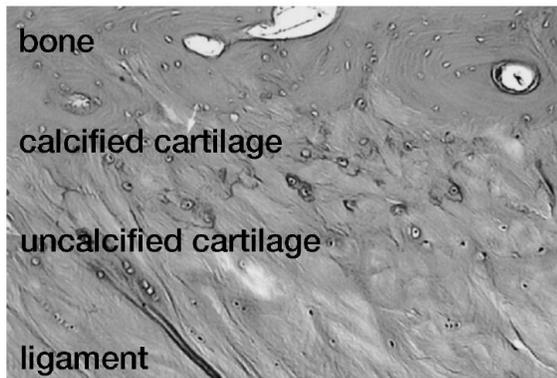
#### **2.1.4.2.4 Graft fixation ( Fiksasi graft )**

Pentingnya pengembalian fungsi lutut yang lebih awal memerlukan fiksasi mekanis yang aman dari graft pada hari-hari awal post operasi, sebelum “fiksasi biologis” terjadi selama proses penyembuhan graft dalam tunnel tulang. Test secara biomekanik telah menunjukkan bahwa material graft memiliki kekuatan yang tinggi sehingga kemampuan bertahan graft ACL sesaat setelah operasi bergantung pada teknik fiksasi. Sangat penting diketahui bahwa setelah operasi (6-7 minggu) properti biomekanikal graft seperti stiffness dan failure load berkurang dan ini tidak ada hubungannya dengan alat fiksasi melainkan akibat proses remodeling intrinsik yang terjadi pada graft.<sup>59,60</sup>

Peningkatan minat pada penggunaan soft-tissue graft seperti Autograft hamstring untuk rekonstruksi ACL telah menyebabkan berkembangnya varian dari alat fiksasi graft. Walaupun banyak publikasi tentang properti biomekanik dari berbagai alat fiksasi graft dari waktu ke waktu, namun studi tentang perbedaan inkorporasi pada tulang dari alat fiksasi tersebut sangat kurang.<sup>61</sup>

Ada 2 mekanisme yang berbeda pada penyembuhan tendon-tulang ( tendon to bone) yang terjadi pada soft tissue graft yaitu penyembuhan intra-tunnel dan penyembuhan permukaan (surface healing).<sup>62</sup> Pada studi intraartikuler dengan model kambing, telah diamati proses penyembuhan secara histologik pada rekonstruksi ACL dengan tendon Achilles graft yang menggunakan fiksasi biodegradable poly-(D,L-lactide) interference screw. Daerah fibrous inter-zone antara graft dengan tulang berkembang hanya sebagian. Pada minggu ke-24, beberapa

kasus menunjukkan pemisahan antara graft intratunnel dengan tempat insersinya, dan beberapa bagian dari graft yang berada intra-tunnel tidak terstruktur dan sebagian diserap. Pada minggu ke 52, 4 Zona pada tempat insersi telah tampak.



Gambar 2.3 : 4 Zona pada tempat insersi graft didalam tunnel <sup>16</sup>

Penulis mengira dengan penggunaan alat fiksasi yang menggunakan sistem press-fit telah menetralkan pergerakan graft tunnel dan mempromosikan perkembangan dari tempat insersi graft. Mereka juga mengira bahwa ketika surface healing terjadi, intratunnel healing dapat terhindar dari stress dan porsi graft itulah yang nantinya diserap. Temuan ini juga terkonfirmasi pada studi 2 tahun pada model hewan yang sama. Temuan ini sangat penting dalam memahami proses penyembuhan graft soft tissue dengan menggunakan satu alat fiksasi, namun tidak ada studi tentang perbedaan proses penyembuhan dengan 2 alat fiksasi yang berbeda.<sup>63</sup>

Keuntungan tipe fiksasi langsung pada graft soft tissue telah dianalisa selama periode awal post operasi pada beberapa model hewan. Berdasarkan temuan mereka, penggunaan interference screw memiliki efek yang sangat penting pada proses penyembuhan soft tissue graft pada tahap awal.

Kelas kedua dari material interference screw (bioabsorbable) memiliki bahan dasar dari poly- L-lactic acid (PLLA), sebuah polimer yang kuat dan memiliki periode degradasi yang lama

( 2-5 tahun ). Dalam hal kekuatan fiksasi dan pull-out strength, material ini sangat bagus namun juga memiliki kelemahan yaitu adanya komplikasi yang berhubungan dengan relasinya terhadap jaringan sekitar tempat screw terfiksasi. Diantaranya adalah pembesaran tunnel,osteolysis, dan pembentukan cyst. Reaksi inflamasi dan pembentukan cyst merupakan komplikasi yang paling sering didokumentasikan. Dalam studi terbaru, tahun 2014 oleh Ramsingh dkk, komplikasi ini memiliki besaran 5 %, dan studi ini merekomendasikan untuk memperhatikan komplikasi ini pada penggunaan screw yang memiliki material yang bersifat bioabsorbable.<sup>8</sup>

Dari kelas biostable, polymer yang sering digunakan adalah polyetheretherketone (PEEK), sebuah polymer yang kaku, semicrystalline, yang memiliki ketahanan yang baik terhadap degradasi yang bersifat kimiawi dan termal serta memiliki properti mekanik yang sangat bagus. PEEK memberikan keunggulan yaitu menyediakan fiksasi yang stabil dan pencitraan post-operasi yang baik serta di lain pihak tidak memiliki komplikasi yang dihubungkan dengan degradasi polymer . Implant PEEK pada hewan coba, menunjukkan tidak adanya respon inflamasi akut dan sedikit inflamasi kronis.<sup>9</sup>



Gambar 2.4 : Biostable interference screw ( hitam ) dan Bioabsorbable interference screw (putih)

#### **2.1.4.2.5 Pergerakan Graft-tunnel dan rehabilitasi**

Penyembuhan graft yang tertunda dan pembesaran tunnel dapat disebabkan oleh gerakan graft-tunnel yang berlebihan. Namun sedikit diketahui hubungan antara gerakan graft-tunnel dan penyembuhan graft. Jumlah gerakan antara graft dan bone-tunnel dikaitkan dengan jenis fiksasi yang digunakan dan program rehabilitasi post operasi. Penelitian terbaru, peneliti pertama kali memperlihatkan rekonstruksi ACL pada lutut cadaver kelinci menggunakan hamstring autograft yang difiksasi dengan dijahit pada periosteum. Gerakan graft-tunnel yang besar ditemukan pada femoral tunnel dibandingkan tibial tunnel. Juga gerakan graft tunnel ditemukan lebih besar pada sisi articular dibandingkan mid-tunnel dan ekstra-artikular. Studi in vivo dilakukan setelahnya, kemudian dilakukan rekonstruksi ACL dengan teknik yang sama, menggunakan histomorfometri untuk membandingkan penyembuhan tendon dan tulang. Hasilnya, kecepatan penyembuhan pada sisi articular lebih lambat dibandingkan mid-tunnel dan extra-artikular, dan terdapat inverse correlation antara gerakan graft-tunnel dan proses penyembuhan pada femoral tunnel. Terdapat sebuah konsensus yang mengatakan rehabilitasi awal yang agresif meningkatkan graft-tunnel motion. Hal ini mungkin menyebabkan pembesaran tunnel karena permukaan graft-bone menerima stress yang lebih awal sebelum secara biologis menyatu dan dapat mempengaruhi proses penyembuhan selanjutnya. Namun, tidak ada cukup bukti yang menjelaskan perbedaan protokol latihan yang mempengaruhi graft load dan bagaimana hal tersebut memulai proses penyembuhan. Pada studi in vivo, latihan closed-kinetic chain yang melibatkan beban tubuh dan kontraksi isometric otot hamstring dibandingkan dengan open kinetic chain exercise, mengungkapkan bahwa closed kinetic chain merupakan latihan yang aman pada awal masa post operasi untuk melindungi graft setelah menjalani rekonstruksi. Pergerakan lutut yang lebih awal dan menumpu dengan berat badan yang juga lebih awal juga dianggap bermanfaat. Belum ada

penelitian yang mengevaluasi batas regangan atau beban yang dianggap cukup atau merugikan dalam hal penyembuhan graft setelah rekonstruksi ACL.<sup>64,65</sup>

### **2.1.4.3 Teknik operasi**

#### **2.1.4.3.1 Posisi ( Positioning )**

Beberapa ahli bedah lebih memilih melakukan operasi rekonstruksi ACL dengan posisi pasien supine dan tungkai bawah pasien berada pada meja operasi.

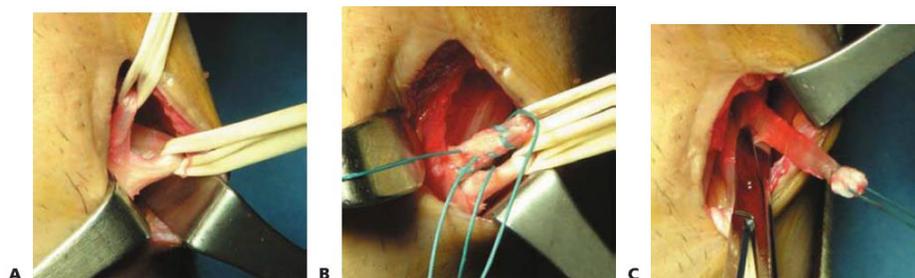


Gambar 2.5 : Positioning dengan lateral post<sup>66</sup>

#### **2.1.4.3.2 Harvesting tendon hamstring**

- Graft Hamstring diambil melalui insisi 2-3 cm paramedian dengan titik tengah berada antara level tibial tubercle dan sekitar 6 cm dibawah garis medial joint.
- Fascia Sartorius dibuka dan tendon dipalpasi.
- Tendon hamstring berinsersi secara oblique dan lebih horizontal.
- Insersi tendon gracilis lebih superior dibandingkan insersi semitendinosus, namun keduanya membentuk pes anserinus.
- Penting untuk melakukan diseksi fascia Sartorius yang menyelimuti kedua tendon.

- Saat tendon teridentifikasi, whipstitch diletakkan di dekat insersi sehingga kedua tendon tersebut lepas dari insersinya dan mudah digerakkan. Diseksi tumpul dan palpasi penting selama mobilisasi tendon.
- Kedua tendon harus dapat dimobilisasi dan dibebaskan dari cabang-cabang kecilnya. Lalu dilakukan pengambilan graft dengan menggunakan stripper.
- Setelah mengambil graft, tendon yang didapat dipersiapkan diatas meja.
- Serat otot dihilangkan dari tendon dengan menggunakan kuret atau elevator, whipstitch kemudian dibiarkan bebas.
- Graft dilipat menjadi 2 lapis dan diameternya dihitung
- Inisiasi saat harvesting dapat digunakan untuk penempatan tibial tunnel.
- Kemudian operasi dilanjutkan dengan artroskopi standar.

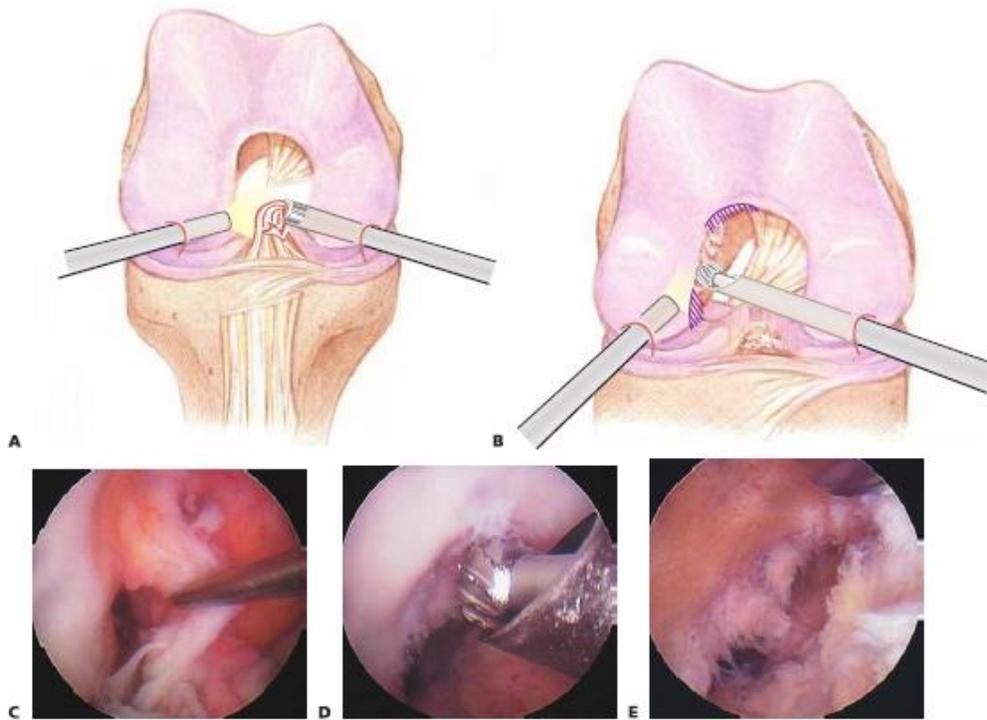


Gambar 2.6 : A. Tendon gracilis pada bagian atas dan semitendinosus pada bagian bawah. B. Whipstitches diletakkan dekat dari insersi tendon hamstring. C Tendon dibebaskan dengan diseksi tumpul dan gunting <sup>66</sup>

#### 2.1.4.3.3 Artroskopi

- Artroskopi diagnostic dilakukan dan semua keadaan pathologic diidentifikasi.
- ACL divisualisasi dan jika terputus, dibersihkan dengan basket dan shaver.
- Tibial footprint dari ACL bagian belakang dari notch harus dibersihkan dari soft tissue.

- Walaupun banyak ahli bedah yang tidak lagi melakukan notchplasty yang agresif, penting untuk membersihkan semua soft tissue untuk mengidentifikasi semua landmark sehingga menjamin graft tidak terjepit (impinge)



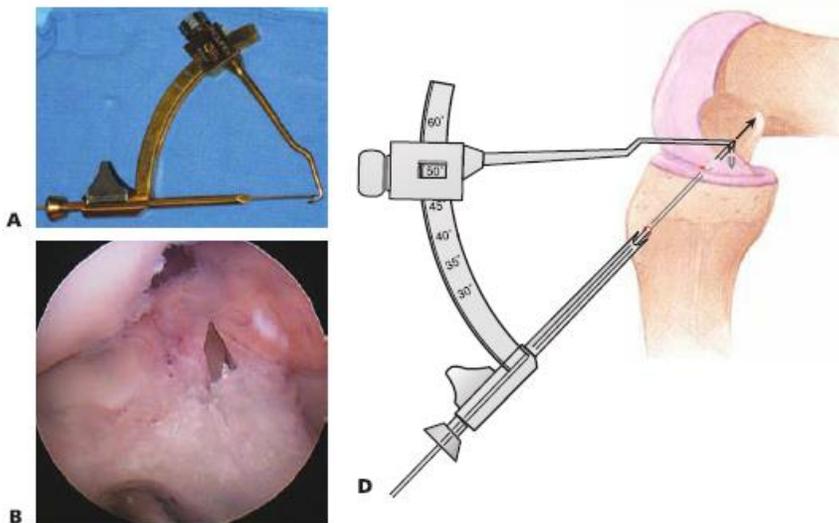
Gambar 2.7 : A. ACL yang tersisa dibersihkan dengan shaver,gunting,osteotom,dan electrocauter. B. Notchplasty. C. ACL yang rupture. D. Notchplasty artroskopik . E.

Debridement dilakukan secara hati-hati sebelum drilling tunnel femoral. <sup>66</sup>

#### 2.1.4.3.4 Penempatan Tibial tunnel

- Sebuah guide digunakan untuk menempatkan guidewire pada tibial tunnel.
- Landmark intra-articular :
  - Posteromedial dari ACL footprint
  - Turunan (slope) pada medial dari eminence
  - Sepanjang garis dari posterior border anterior horn dari meniscus lateral

- 7 mm di depan PCL
- Bagian extra-artikuler dari guide berada pada pertengahan antara tibial tubercle dan posteromedial aspect tibia.
- Guide di-setting antara 45 and 50 derajat untuk graft hamstring.
- Saat guide wire sudah diposisikan, mata bor yang berlubang ( cannulated drill) digunakan untuk membuat tibial tunnel.
- PCL dilindungi dengan menggunakan kuret pada proses akhir pembuatan tunnel tibia.
- Ujung tibial tunnel di-rasp agar graft tidak terkikis.



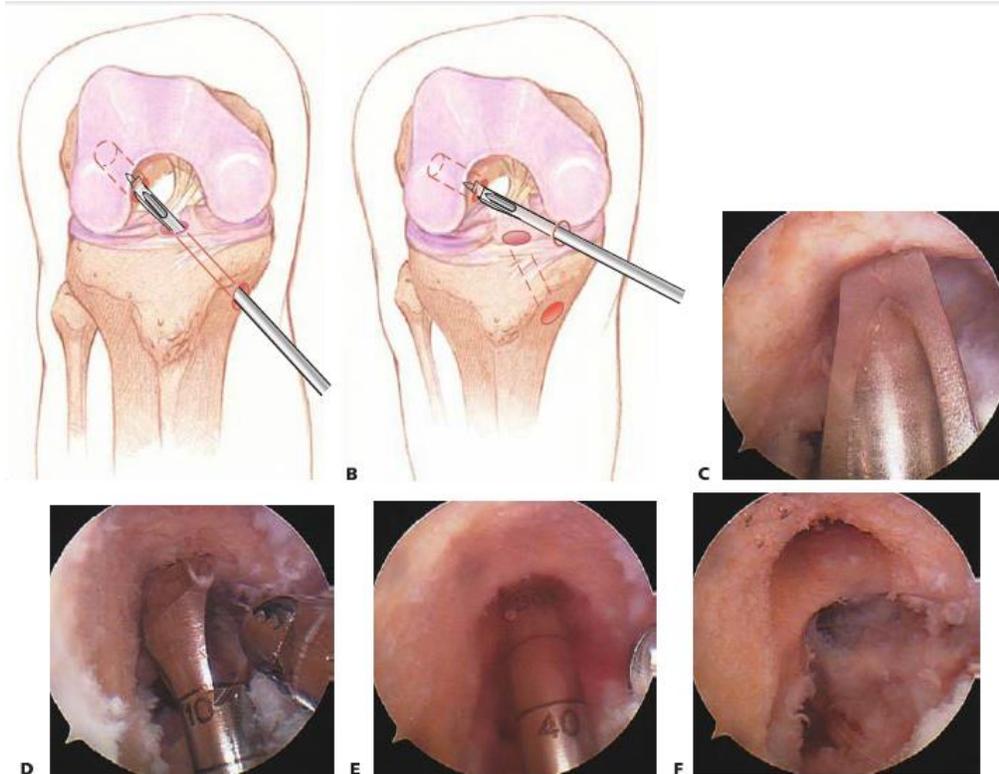
Gambar 2.8 : A. Guide tibial . B. Tampilan artroskopik penempatan tibial guide pin. D.

Penempatan Tibial pin guide <sup>66</sup>

#### 2.1.4.3.5 Penempatan Femoral Tunnel

- Guide endoskopik diletakkan pada tibial tunnel dan mengarah pada posterolateral notch.
- Guide pin seharusnya diletakkan pada arah jam 10:30 (lutut kanan) atau jam 1:30 (lutut kiri) position. (Selama artroskopi, bagian atas dari notch berada pada jam 12.00 )
- Guiding pin harus mampu mempertahankan 1-mm posterior wall selama drilling.

- Femoral tunnel kemudian di-drill hingga 5-8 mm dari far-cortex femoral.

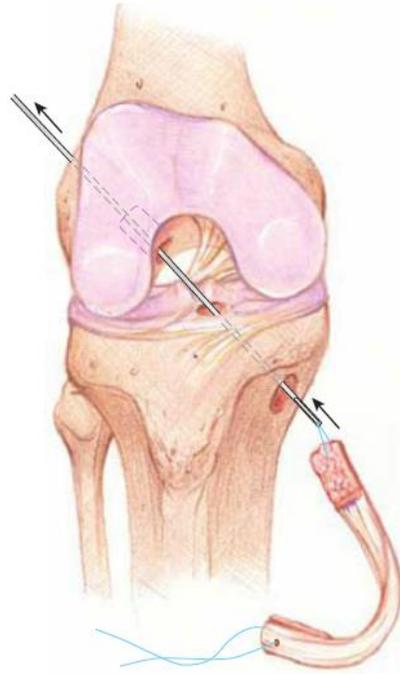


Gambar 2.9 : A. Penempatan femoral offset melalui tibial tunnel. B. Alternatif, portal inferomedial dibuat untuk penempatan tunnel femoral. C. Guide femoral pada posisi yang tepat. D. Drillbit sebelum drilling femoral tunnel. E. Drilling femoral tunnel. F. Tampak posterior wall intact setelah drilling.<sup>66</sup>

#### 2.1.4.3.6 Graft passage dan fiksasi graft

- Beath needle ditempatkan pada kedua tunnel dan menembus quadriceps dan kulit.
- Ikatan dari graft atau alat fiksasi femoral kemudian ditarik melalui tunnel dan keluar pada bagian lateral paha.

- Saat daerah femoral telah terfiksasi, lutut kemudian digerakkan dalam rentang penuh fleksi dan ekstensi untuk memberikan tensioning pada graft.
- Daerah tibial kemudian di-fix dengan menggunakan interference screw.
- Patensi graft dinilai dengan probe sebelum luka dijahit.



Gambar 2.10 : Graft passaging <sup>66</sup>

#### 2.1.4.4 Rehabilitasi

Tujuan rehabilitasi post operasi adalah untuk mengembalikan gerakan dan kekuatan sendi yang telah direkonstruksi menjadi normal sekaligus melindungi graft. Dampak dari perkembangan teknik operasi, pemilihan graft, metode fiksasi, program rehabilitasi telah berubah beberapa tahun belakangan yang memungkinkan pasien untuk dapat menahan beratnya sesegera mungkin sekitar 1-2 minggu setelah operasi dan kembali berolahraga (biasanya tidak sebelum 6 bulan, atau setidaknya 80% kekuatan paha kembali dan kemampuan spesifik yaitu olahraga

ketangkasan). Bagaimanapun, terlalu awal kembali melakukan olahraga dapat menyebabkan kegagalan transplantasi, sehingga keputusan untuk kembali melakukan olahraga harus didasarkan pada penilaian fungsional post operatif daripada melihat waktu post operasi.<sup>67</sup>

Umumnya, pada awal program rehabilitasi, latihan closed kinematic chain untuk menguatkan otot hamstring dan quadriceps. Latihan closed kinematic chain dilakukan dengan cara kaki berpijak pada permukaan keras seperti squat dan leg press. Latihan open kinematic chain, dimana kaki tidak bersentuhan dengan permukaan keras, seperti ekstensi kaki. latihan ini dianggap kurang aman pada periode pasca operasi dan harus dilakukan tidak lebih cepat dari 6 minggu post operasi. Rehabilitasi pasca operasi juga harus meningkatkan kekuatan inti, keseimbangan, dan propioseptif.<sup>67</sup>

#### **2.1.5. Femoral & Tibial Tunnel Measures Post Rekonstruksi ACL**

Pelebaran tunnel merupakan fenomena yang sering terjadi setelah di lakukan operasi rekonstruksi ACL. Penyebab utama sendiri dari pelebaran tunnel sampai saat ini belum dapat diketahui dengan pasti, tetapi para ilmuwan percaya ada beberapa faktor yang menyebabkannya, yaitu kombinasi faktor biomekanik dan faktor biologi. Micromotion dari graft dengan tunnel di percaya menimbulkan reaksi inflamasi atau stress shielding sehingga dapat menyebabkan pelebaran pada tunnel itu sendiri.<sup>68,69</sup>

Standart penilaian secara radiologi post operasi ACL rekontruksi sangat penting secara klinis tetapi masih harus di teliti lebih lanjut. Secara umum penilaian radiologi secara rutin untuk tujuan pembelajaran terdiri dari weight-bearing antero-posterior, lateral and tunnel view , meskipun untuk penilaian tunnel secara xray terkadang masih keliru.<sup>70</sup>

Peyrache et al. Studi menyimpulkan lebar tunnel dapat di hitung dari jarak antara bagian yang sclerotic pada bagian distal medial tibial cortex, pada bagian tengah dari tunnel dan juga bagian proksimal tunnel pada level joint line. Posisi center dari tibial tunnel dapat berpatokan pada Blumensaat's line.<sup>70</sup>

L'Insalata et al. melakukan studi tentang pelebaran tunnel 9 bulan setelah operasi pada anteroposterior dan lateral view xray. Mereka menggunakan penggaris digital untuk mendapatkan nilai terlebar dari tunnel. Nilai tersebut lalu dibandingkan dengan diameter dari interference screw fiksasi yang digunakan.<sup>70</sup>

Murty et al. Menyimpulkan ukuran tunnel pada x-ray dapat di ukur dengan menilai jarak antara dua bagian yang sklerotik pada 5 mm dari proksimal tunnel dan 5 mm dari distal tunnel dengan patokan tegak lurus dengan garis longitudinal pada tunnel. Nilai yang terbesar adalah nilai yang di gunakan. Persentase pelebaran tunnel di nilai dan di bandingkan dengan nilai ukuran original drill awal.<sup>70</sup>

Baumfeld et al. menyimpulkan pelebaran femoral dan tibial tunnel dapat di hitung 1 cm dari lubang awal tunnel tersebut. Nilai angka dapat di simpulkan dari garis yang di ambil tegak lurus dari axis tunnel tersebut. Nilai absolute dalam mm dan persentase dari pelebaran tunnel dapat di simpulkan dan di bandingkan dengan original ukuran drill awal.<sup>70</sup>

Clatworthy et al. mengevaluasi pelebaran tunnel secara prospektif dari beberapa sample pasien setelah di lakukan hamstring dan patella tendon autograft ACL reconstruction. Pelebaran tunnel dapat di nilai dengan menggunakan standart anteroposterior dan lateral view x-ray sebagai patokan. Femoral tunnel diameter dapat di hitung pada anteroposterior x-ray 1 cm proksimal dari

garis epifisis dan lateral x-ray 1 cm dari garis blumensaat. Diameter dari tibial tunnel dapat di nilai dari 2 view yaitu anteroposterior dan lateral view, 1 cm distal dari ACL attachment.<sup>70</sup>

Fauno and Kaalund menyimpulkan pengukuran tibial dan femoral dengan cara 1 cm di bawah tibial plateu dan 1 cm di atas dari femoral entrance pada x-ray standart anterior posterior view dan lateral view. Batas dari tunnel dapat di lihat dan di perkirakan oleh penilai.<sup>70</sup>

Nebelung et al menyimpulkan 6 point nilai yang dapat di hitung, 3 pada anterior-posterior view dan 3 pada lateral view (pada femoral entrance point, tibial entrance point, tibial exit point). Hasil nilai absolute di bandingkan dengan ukuran awal driil saat operasi.<sup>70</sup>

Surer et al. membagi berdasarkan longitudinal axis dari tunnel pada tulang ke dalam 3 bagian. Masing-masing bagian dapat di hitung ukurannya sehingga dapat di lihat bagian mana yang terjadi pelebaran. Cara pengukuran ini di lakukan pada tunnel femur dan tibia pada x-ray anterior posterior view sedangkan untuk pengukuran lateral view hanya di lakukan pada tunnel tibia karena pada femur susah di nilai.<sup>70</sup>

**Table I. List of included studies presenting different methods for assessment of tunnel widening on radiographs.**

Study	Tunnels measured	Measured points	Measured value
Peyrache et al. (1996)	Tibial	Proximal, middle, distal	Diameter
L'Insalata at al. (1997)	Tibial + femoral	Widest	Diameter
Nebelung et al. (1998)	Tibial + femoral	Femoral entrance, tibial entrance, tibial exit	Diameter
Murty et al. (2001)	Tibial	Widest of 5 mm from tibial entrance, 5 mm from tibial exit	Diameter
Baumfeld et al. (2008)	Tibial + femoral	Widest point + 1 cm from the apertures of the tibial and femoral tunnels at the joint	Diameter
Clatworthy et al. (1999)	Tibial + femoral	Tibial: AP + lateral – 1 cm distal of ACL attachment Femoral: AP – 1 cm proximal to physeal line, lateral – 1 cm proximal to Blumensatt's line.	Area
Fauno and Kaalund (2005)	Tibial + femoral	At 1 cm below the tibial plateau, 1 cm above the femoral entrance	Diameter
Kawaguchi et al. (2011)	Femoral	Intra-articular outlet	Diameter

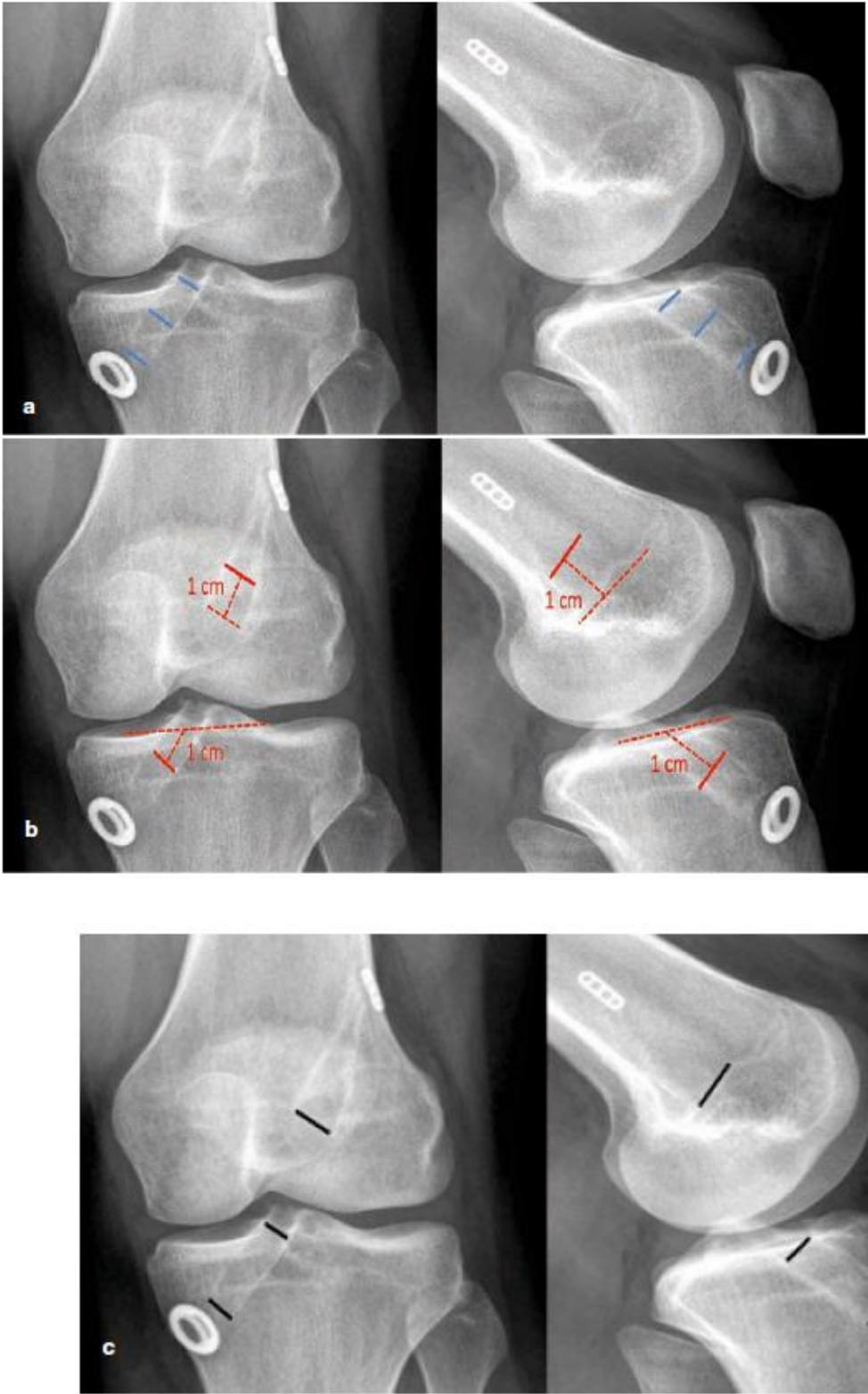
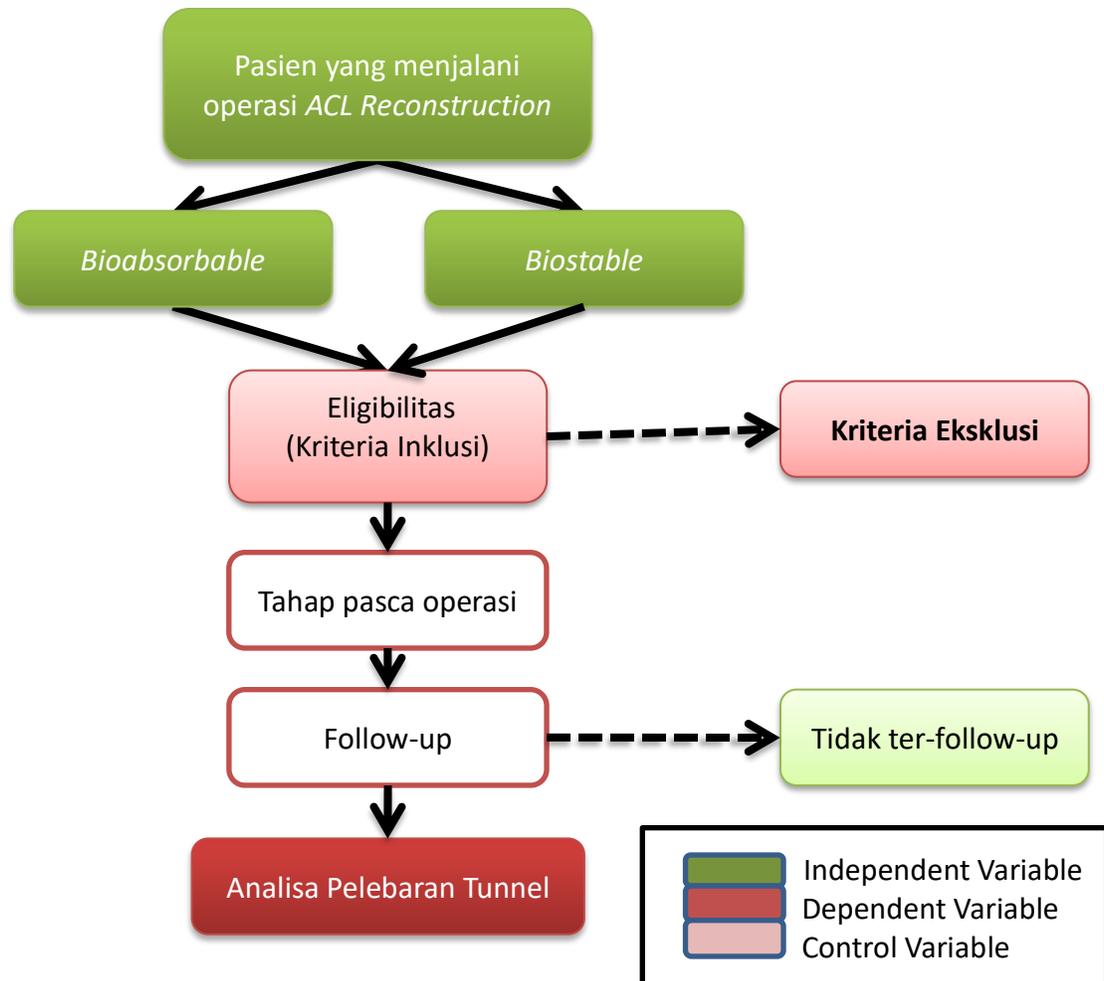


Figure 2 a-c. Illustration of different measurement methods on anterior-posterior and lateral knee radiographs. a) Peyrache et al. measured both tunnels at three different heights in two projections<sup>30</sup>. b) Fau-no and Kaalund measured the femoral tunnel width 1 cm above the tunnel entrance and the tibial tunnel width 1 cm below the entrance<sup>6</sup>. c) Nebelung et al. measured both tunnel widths at the entrance and additionally the tibial tunnel widths at the exit<sup>29</sup>.

## 2.2. KERANGKA PEMIKIRAN



## 2.3. HIPOTESIS

Tidak ada perbedaan pelebaran tunnel yang signifikan antara penggunaan biostable interference screw dengan bioabsorbable interference screw pada Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.