

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Autograf tendon hamstring atau tulang - tendon patela - tulang masih menjadi pilihan yang disukai untuk pencangkokan tendon dalam berbagai kasus operasi rekonstruksi ligamen lutut<sup>1,2</sup>. Namun, morbiditas lokasi donor pada kedua autograf ini dapat menimbulkan masalah. Potensi morbiditas yang terkait dengan pengambilan cangkok ini meliputi: nyeri lutut bagian anterior, ketidaknyamanan saat berlutut, patah tulang patela, robekan tendon patela, kelemahan lutut, dan berkurangnya rentang gerakan lutut<sup>3-6</sup>. Dalam beberapa kasus operasi rekonstruksi, ukuran dan panjang tendon yang tidak memadai juga bisa menjadi masalah, seperti dalam rekonstruksi multiligamen atau kasus revisi dimana kedua sumber mungkin tidak mencukupi atau tidak tersedia<sup>7</sup>. Oleh karena itu, pilihan autograf lainnya dengan tendon yang sebanding kualitas dan morbiditas lokasi donor yang minimal perlu dipertimbangkan.

Dalam beberapa tahun terakhir, pengambilan cangkok dari tendon peroneus longus (PLT) telah dilakukan<sup>8-14</sup>. PLT memiliki biomekanik yang sangat baik dan teknik pengambilannya relatif mudah dan aman karena lokasinya dekat dengan permukaan kulit<sup>10</sup>. Autograf PLT keseluruhan dapat dengan mudah memberikan ukuran yang memadai untuk sebagian besar kasus operasi rekonstruksi, terutama untuk rekonstruksi ligamen anterior krusiatum (ACL)<sup>11,12</sup>.

Meskipun autograf PLT menjanjikan untuk menjadi pilihan sebagai cangkok, terdapat laporan morbiditas lokasi donor yaitu kekuatan plantar fleksi dan eversi pergelangan kaki secara signifikan menurun pada enam bulan pertama setelah pengambilan autograf PLT<sup>14,15</sup>. Namun beberapa penelitian menunjukkan

bahwa fungsi pergelangan kaki setelah pengambilan autograf PLT sama dengan sisi kontralateralnya<sup>16-19</sup> bahkan menunjukkan adanya regenerasi PLT yang terlihat<sup>20-24</sup>.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan plantar fleksi dan eversi pergelangan kaki dikorelasikan dengan ukuran regenerasi PLT. Kami berhipotesis bahwa semakin besar ukuran regenerasi tendon maka semakin besar kekuatan plantar fleksi dan eversi pergelangan kaki setelah dilakukan pengambilan autograf PLT keseluruhan

## **1.2. RUMUSAN MASALAH**

Masalah penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Menilai apakah ada korelasi antara ukuran regenerasi PLT dengan hasil fungsional, kekuatan plantar fleksi, dan eversi pergelangan kaki.

## **1.3. TUJUAN MASALAH**

### **1.3.1. Tujuan Umum**

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menilai apakah ukuran regenerasi PLT berpengaruh dengan hasil fungsional dan gerakan pergelangan kaki.

### **1.3.2. Tujuan Khusus**

Secara khusus, tujuan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Membandingkan nilai AOFAS dan FADI dengan ukuran regenerasi PLT.
2. Menentukan apakah gerakan kekuatan plantarfleksi dan eversi pergelangan kaki bergantung pada ukuran regenerasi PLT.

3. Berfungsi sebagai bukti pendukung untuk studi lebih lanjut.

#### **1.4. MANFAAT PENELITIAN**

##### **1.4.1. Manfaat Keilmuan**

Penelitian ini memberikan kontribusi untuk memberikan informasi ilmiah tentang korelasi ukuran regenerasi PLT dengan hasil fungsional pergelangan kaki.

##### **1.4.2. Manfaat Praktis**

Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi seluruh stakeholder rumah sakit dalam upaya peningkatan pelayanan kepada pasien juga kepada penentu kebijakan di rumah sakit.

##### **1.4.3. Manfaat Bagi Peneliti**

Penelitian ini memberi pengalaman kepada peneliti untuk menilai perkembangan pasien setelah dilakukan cangkok ligamen menggunakan PLT.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS**

#### **2.1. KAJIAN PUSTAKA**

##### **2.1.1. Pilihan Cangkok dalam Rekonstruksi Ligamen Lutut**

Pilihan cangkok yang tepat dalam tindakan operasi rekonstruksi ligament lutut merupakan faktor kunci dalam penentuan teknik operasi yang akan digunakan dan hasil fungsional operasi. Terdapat tiga kategori cangkok yaitu autograf, allograf dan cangkok sintetik<sup>24</sup>. Autograf biasanya terdiri dari tendon hamstring (HT), tulang – tendon patella – tulang (BPTB) atau tendon quadriceps (QT), terdapat juga autograf peroneus longus namun penggunaannya terbatas. Allograf sangat bervariasi namun biasanya terdiri dari tendon tibialis posterior, tendon achilles, tendon tibialis anterior, BPTB dan tendon peroneus longus<sup>25,26</sup>.

Cangkok sintesis sangat populer digunakan dalam tindakan operasi rekonstruksi lutut pada tahun 1980 sampai 1990. Akan tetapi cangkok sintesis ini memiliki hasil fungsional dan efek samping yang buruk. Oleh karena itu, penggunaan cangkok sintesis sudah lama ditinggalkan sejak 2 dekade lalu<sup>27,28</sup>. Namun, baru-baru ini cangkok sintesis kembali diperkenalkan sebagai cangkok pelengkap seperti Sistem Rekonstruksi Augmentasi Ligamen (LARS) atau sebagai augmentasi pada tindakan operasi rekonstruksi atau perbaikan ligamen<sup>29</sup>.

Pemilihan cangkok dan teknik operasi yang akan digunakan selama proses rekonstruksi ligamen lutut didasarkan pada anatomi pasien, riwayat operasi sebelumnya, cedera yang menyertai dan juga pilihan pasien. Pilihan ahli bedah ditentukan oleh kombinasi faktor-faktor tersebut, selain itu juga dipengaruhi oleh hasil fungsional, kecepatan rehabilitasi, penggabungan cangkok, ketersediaan cangkok dan morbiditas lokasi donor. Pemilihan jenis cangkok juga dipengaruhi

dengan seberapa sering ahli bedah mengerjakan jenis cangkok tertentu, teknik pengambilan cangkok yang digunakan dan teknik implantasinya<sup>30</sup>.

#### 2.1.1.1. Autograf Tulang – Tendon patella – Tulang (BPTB)

Penggunaan BPTB untuk tindakan operasi rekonstruksi ligament lutut telah dilakukan sejak tahun 1969 dan masih menjadi pilihan utama di beberapa negara dan beberapa kelompok pasien<sup>31</sup>. Autograf BPTB dipertimbangkan sebagai baku emas dalam tindakan operasi rekonstruksi ligamen lutut utamanya pada rekonstruksi ligamen krusiatum anterior (ACL)<sup>32</sup>. Tingkat operasi revisi pada penggunaan autograf BPTB berkisar dari 1,5% sampai 3,2%,. Angka tersebut diperoleh dari penelitian terbaru yang dilakukan oleh negara Skandinavia dan Amerika Serikat<sup>25,33,34</sup>. Stabilitas lutut dievaluasi sebagai persentase dari pasien dengan stabilitas lutut yang normal dengan definisi hasil tes Lachman kurang dari 3 mm berkisar antara 66% dan 81%<sup>30</sup>.

#### 2.1.1.2. Cangkok Tendon Hamstring (HT)

Penggunaan cangkok tendon hamstring adalah salah satu cangkok yang paling umum digunakan dalam tindakan operasi rekonstruksi ligamen lutut utamanya rekonstruksi ACL sejak pertama kali diperkenalkan oleh Lipscombe pada tahun 1982<sup>34</sup>. Tendon semitendinosus dengan atau tanpa tendon gracilis biasanya diambil pada tungkai ipsilateral. Jaringan yang diambil kemudian dilipat dengan diameter 7-10 mm, yang kemudian digunakan untuk merekonstruksi ligamen lutut utamanya ACL dengan teknik fiksasi yang berbeda-beda, seperti penggunaan *button*, logam dengan loop, *transfixation pins*, atau *interference screw*<sup>30</sup>.

Tingkat operasi revisi pada penggunaan cangkok HT dari penelitian yang dilakukan di Eropa dan Amerika Serikat setelah 5 tahun paska operasi pertama berkisar antara 2,5% sampai 4,5%. Stabilitas lutut dievaluasi sebagai persentase dari pasien dengan stabilitas lutut yang normal dengan definisi hasil tes Lachman kurang dari 3 mm berkisar antara 59 dan 84%. Dalam sebuah penelitian Cochrane mengungkapkan bahwa 81% pasien yang telah menjalani tindakan rekonstruksi ACL dengan menggunakan cangkok HT dapat kembali berolahraga ringan<sup>35</sup>.

#### 2.1.1.3. Autograf Tendon Quadriceps (QT)

Autograf QT untuk rekonstruksi ACL pertama kali dijelaskan oleh Marshall pada tahun 1979<sup>36</sup>, namun tidak populer sebagai cangkok utama untuk tindakan rekonstruksi ligamen lutut sampai 6-8 tahun terakhir<sup>37</sup>. Sebelumnya autograf QT utamanya digunakan untuk operasi revisi ACL dan rekonstruksi PCL<sup>30</sup>. Tingkat revisi pada penggunaan autograf QT secara keseluruhan lebih tinggi berkisar 4,7% bila dibandingkan dengan penggunaan cangkok lainnya yang hanya berada pada 2-3%<sup>38</sup>. Stabilitas lutut pada penggunaan autograf QT dikomponenkan sangat baik, dengan *laxity* sekitar 1,1 mm sampai 2,8 mm dengan pergeseran pivot normal terlihat pada 75 hingga 85%<sup>30</sup>.

#### 2.1.1.4. Allograf

Penggunaan allograf sangat menarik terutama karena kurangnya morbiditas situs donor, ketersediaan cangkok yang cukup baik dan cangkok dengan berbagai ukuran dengan pilihan blok tulang yang melekat pada cangkok. Allograf memiliki risiko tersendiri bila dibandingkan dengan penggunaan autograf diantaranya risiko transmisi penyakit mikrobiologis

dan merupakan pilihan tindakan yang mahal bila dibandingkan dengan autograf. Tendon allograf yang paling umum digunakan adalah tendon tibialis anterior/posterior dan allograf tendon achilles; penggunaan tendon patella dan HT juga sering digunakan di beberapa negara<sup>39</sup>.

Adapun kerugian lainnya dari penggunaan allograf dalam tindakan rekonstruksi ligamen lutut adalah respon imunogenik dari *host* terhadap cangkok dan tertundanya regenerasi atau penggabungan cangkok bila dibandingkan dengan autograf. Dalam sebuah penelitian histologis yang menilai allograf 2 tahun paska implantasi menunjukkan vaskularisasi yang buruk pada bagian tengah cangkok dan sisanya aseluler<sup>39</sup>.

Tingkat revisi pada penggunaan allograf termasuk tinggi, utamanya pada pasien yang berusia dibawah 21 tahun menunjukkan peningkatan risiko untuk kembali menjalani tindakan revisi ketika menggunakan allograf sebagai cangkoknya dengan tingkat revisi sebesar 13%<sup>40</sup>. Hal ini sejalan dengan penelitian kohort MOON, dimana tingkat revisi allograf pada pasien yang berusia 20 tahun, 10 kali lebih tinggi bila dibandingkan dengan autograf BPTB dengan tingkat revisi 2,5% untuk BPTB dan 25% untuk allograf<sup>41,42</sup>.

Pemilihan cangkok yang akan digunakan dalam rekonstruksi ligamen lutut pada kelompok dewasa dan dewasa muda sangatlah penting karena adanya peningkatan risiko rupturnya cangkok dan tindakan revisi. Kaeding dkk, melaporkan bahwa adanya risiko rupturnya cangkok pada pasien dewasa muda<sup>41</sup>. Dari 2683 pasien, risiko rupturnya cangkok ACL ipsilateral sebesar 4,4% dan paling tinggi pada populasi dewasa muda. Ada hubungan yang serupa antara usia yang muda dan risiko tindakan revisi dikomponenkan pada penelitian lainnya<sup>43-45</sup>. Persson dkk

menemukan hasil yang sejalan dengan hasil penelitian Kaeding dkk. Dalam penelitiannya dilaporkan bahwa risiko terjadinya operasi revisi paska rekonstruksi ligamen lutut terjadi pada lebih dari 12.000 pasien. Dengan perbandingan revisi kembali sebesar 4,0 pada kelompok pasien usia muda (15 – 19 tahun) bila dibandingkan dengan kelompok dengan usia yang lebih tua (>30 tahun)<sup>46</sup>.

Melihat dari data penelitian terhadap dampak pemilihan cangkok pada kelompok dengan usia muda, ditemukan sebuah penelitian yang setelah 5 tahun *follow up*, pada kelompok usia muda menunjukkan adanya risiko revisi sebesar 9,5% pada penggunaan cangkok HT bila dibandingkan dengan penggunaan cangkok BPTB yang hanya 3,5% untuk risiko revisinya<sup>46</sup>. Ho dkk juga mengungkapkan adanya perbedaan risiko revisi setelah dilakukan tindakan rekonstruksi ligamen berdasarkan jenis pilihan cangkok yang digunakan. Dari 561 pasien dengan rata-rata usia 15.4 tahun, ditemukan tingkat kegagalan tindakan bila menggunakan jaringan lunak sebesar 13%, sedangkan bila menggunakan autograf BPTB angka kegagalannya hanya sebesar 6%<sup>47</sup>.

*Review* terbaru terkait pilihan cangkok dan jenis kelamin yang dilakukan oleh Tan dkk. Penelitian ini terdiri dari 948 pasien berjenis kelamin perempuan dengan rekonstruksi ACL. Hampir sebagian tindakan rekonstruksi dilakukan dengan menggunakan autograf BPTB, sedangkan sisanya menggunakan autograf HT. Dari meta-analisis ini tidak ditemukan adanya perbedaan pada *laxity* lutut, *pivot shift*, robekan cangkok dan kegagalan cangkok pada pasien perempuan yang menggunakan kedua jenis cangkok tersebut<sup>26</sup>. Pilihan cangkok yang digunakan dalam tindakan rekonstruksi ligamen dan faktor spesifik dari pasien sangat mempengaruhi hasil fungsional dari tindakan rekonstruksi itu sendiri.

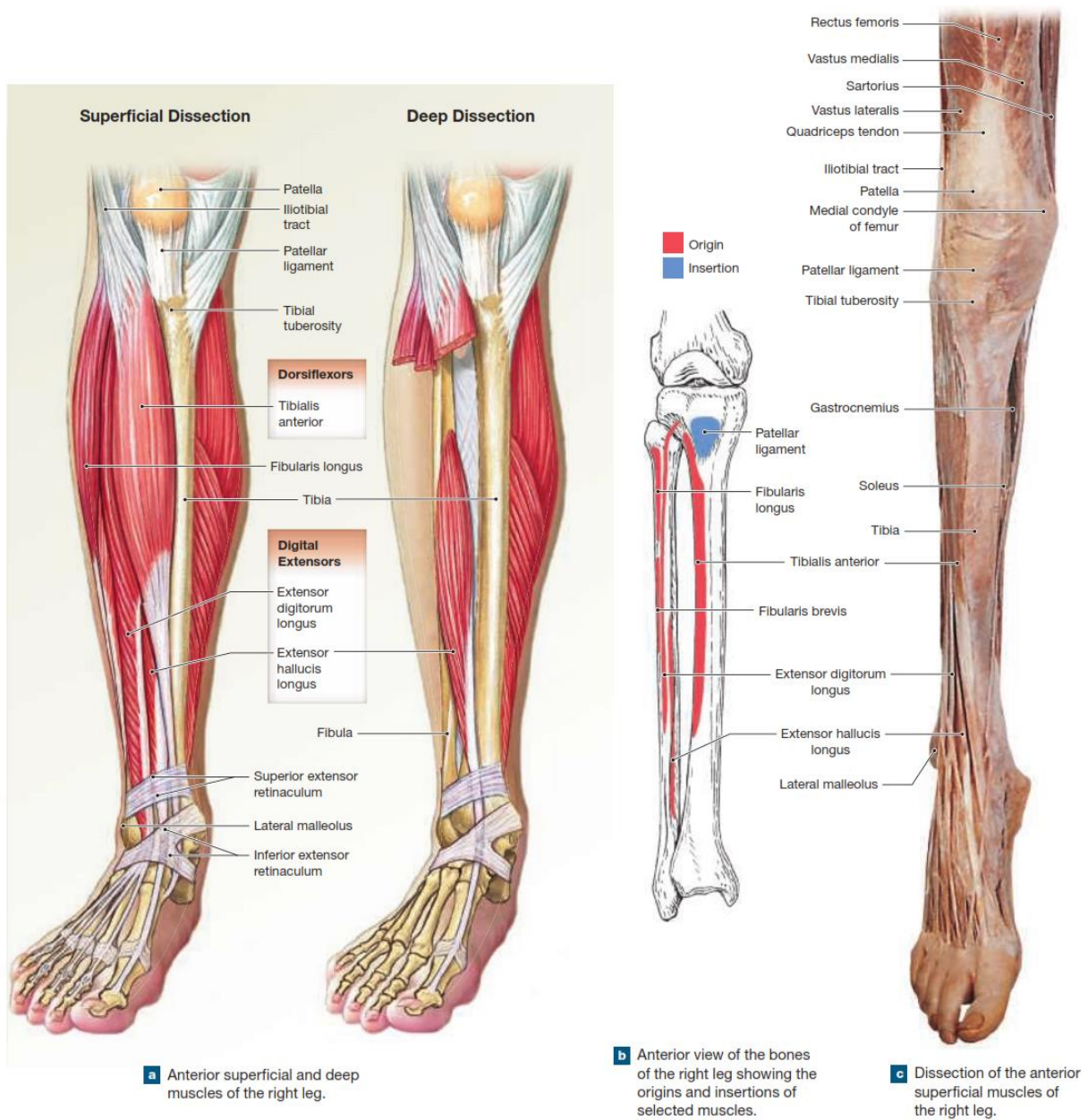
### 2.1.2. Tendon Peroneus Longus

Donor autograf yang ideal sebaiknya memenuhi beberapa kriteria diantaranya : memiliki kekuatan yang cukup, ukuran yang adekuat, serta mudah dan aman untuk diambil. Dalam sebuah literatur menyarankan penggunaan autograf alternatif untuk digunakan dalam tindakan operasi rekonstruksi ligament lutut, seperti penggunaan tendon peroneus longus (PLT)<sup>48</sup>.

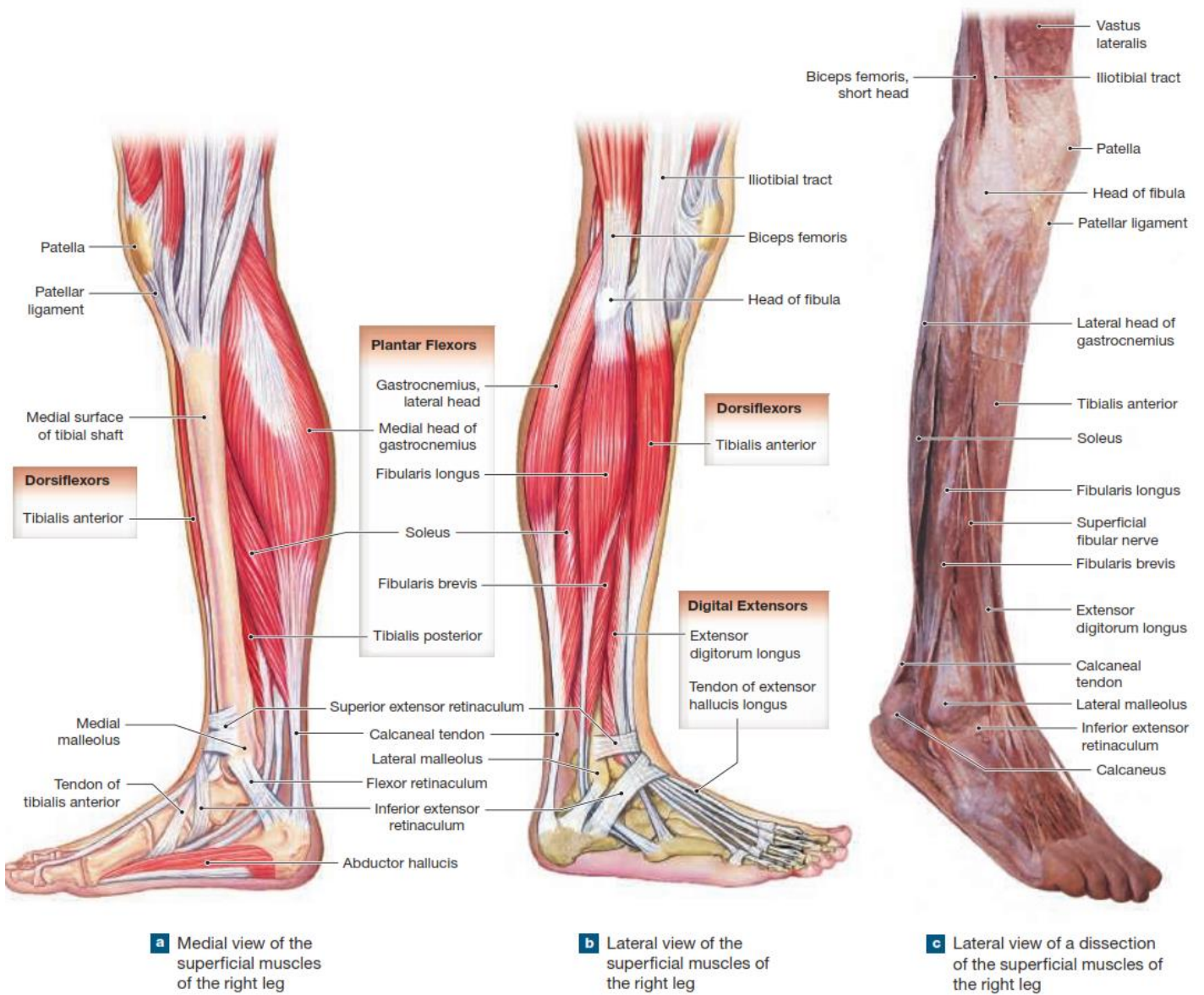
Zhao dan Huangfu menemukan bahwa *anterior half* tendon peroneus longus (AHPLT) memiliki panjang dan kekuatan yang cukup dan efektif untuk digunakan sebagai pilihan autograf dalam tindakan rekonstruksi ACL. Hasil memuaskan setelah 2 tahun paska tindakan rekonstruksi diperoleh dari pasien yang menggunakan cangkok AHPLT, akan tetapi tidak ada perbandingan langsung terhadap hasil fungsional antara penggunaan AHPLT dan tendon hamstring. Sifat biomekanis dari AHPLT sebanding dengan tendon semitendinosus dan tendon gracilis dan morbiditas di seluruh lokasi pengambilan cangkok minimal<sup>49</sup>.

#### a. Anatomi

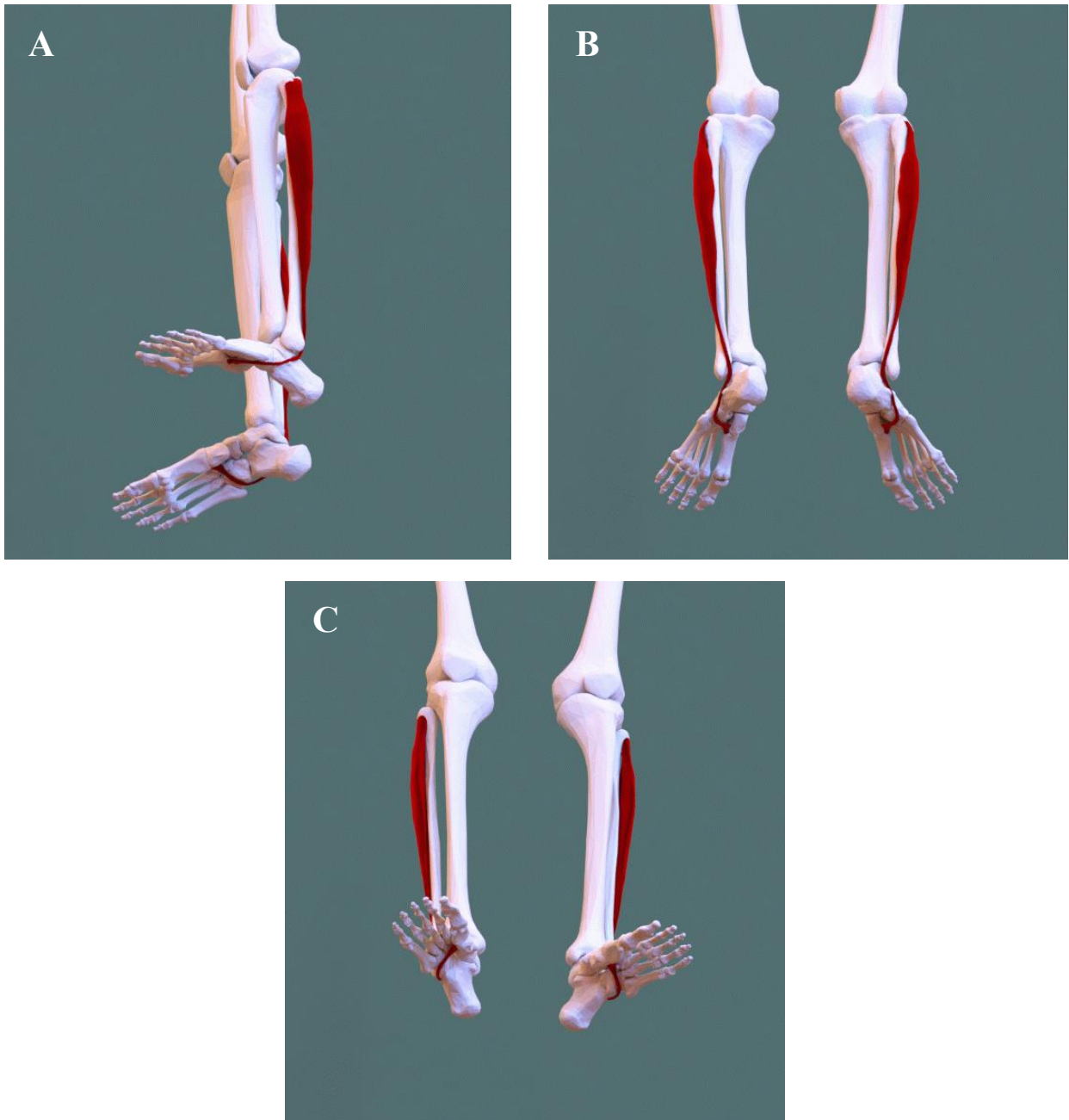
Otot peroneus longus berorigo dari bagian caput os fibula dan 2/3 proksimal permukaan lateral fibula, dari permukaan dalam fascia, dan dari jaringan ikat antara fascia otot-otot dibagian depan dan belakang kaki. Diantara perlekatan di caput dan badan tulang fibula, terdapat celah kecil yang dilalui saraf peroneus komunis ke bagian depan kaki. Adapun insersio dari otot peroneus longus adalah pada aspek plantaris sisi medial dari os cuneiform dan sisi lateral dari basis metatarsal satu<sup>50</sup>. Otot peroneus longus terlatak di atas otot gastrocnemius dan soleus. Otot ini berfungsi untuk plantar fleksi dan eversi dari pergelangan kaki<sup>51</sup>.



Gambar 1 Otot Ekstrinsik yang Menggerakkan Kaki dan Jari, Anterior View  
Sumber : Human Anatomy. Edisi ke-9. 2018<sup>51</sup>.



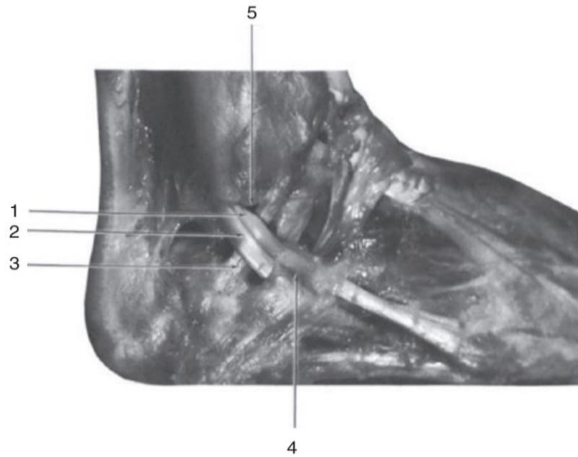
Gambar 2 Otot Ekstrinsik yang Menggerakkan Kaki dan Jari, Medial dan Lateral View.  
 Sumber : Human Anatomy, Edisi ke-9, 2018<sup>51</sup>.



Gambar 3 Otot Peroneus Longus (A) Lateral View; (B) Posterior View; (C) Anterior View.  
 Sumber : Gray Anatomy, Edisi ke-3. 2018<sup>50</sup>.

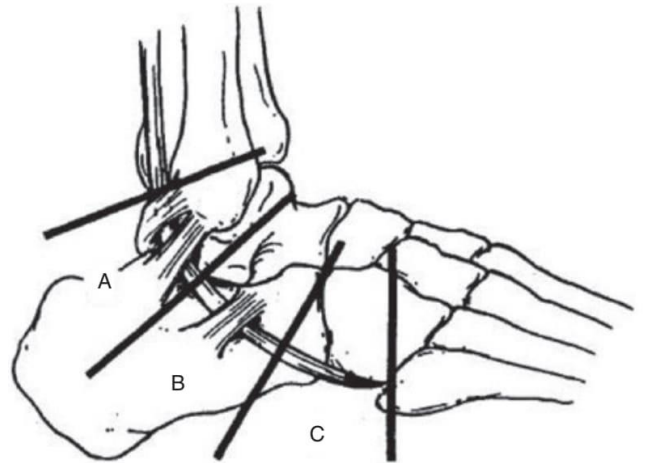
Otot peroneus longus berakhir pada tendon panjang, yang berjalan dibelakang lateral maleolus dari pergelangan kaki dan berbagi dengan tendon peroneus brevis. Tendon kemudian meluas ke depan pada suatu sudut melintasi sisi lateral kaki, dibawah troklea fibular dan tendon peroneus brevis dan berada dibawah penutup retinaculum fibular inferior. Kemudian tendon secara lateral pada sisi os cuboid dan yang kemudian tendon berjalan melintasi telapak kaki

dan secara miring masuk ke sisi lateral basis metatarsal pertama dan sisi medial os cuneiform. Perubahan arah jalannya tendon pada dua titik : pertama, dibelakang maleolus lateral; kedua, pada os cuboid. Pada kedua lokasi ini, tendon menebal<sup>50</sup>.



Gambar 4 Tendon Peroneus Longus (1. Peroneus Brevis; 2. Tendon peroneus longus; 3. Ligamen calcaneo-fibular; 4. Retinaculum peroneus inferior; 5. Ujung maleolus lateral)

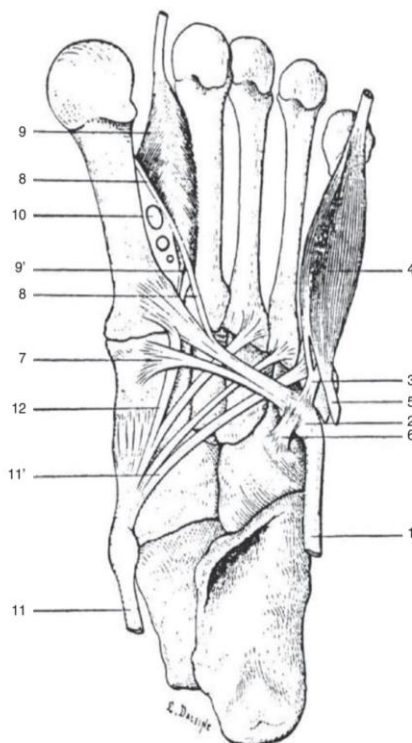
Sumber : Sarrafian SK, 2011. p 235<sup>73</sup>.



Gambar 5 Tiga zona dari tendon peroneus longus yang rentan terhadap cedera.

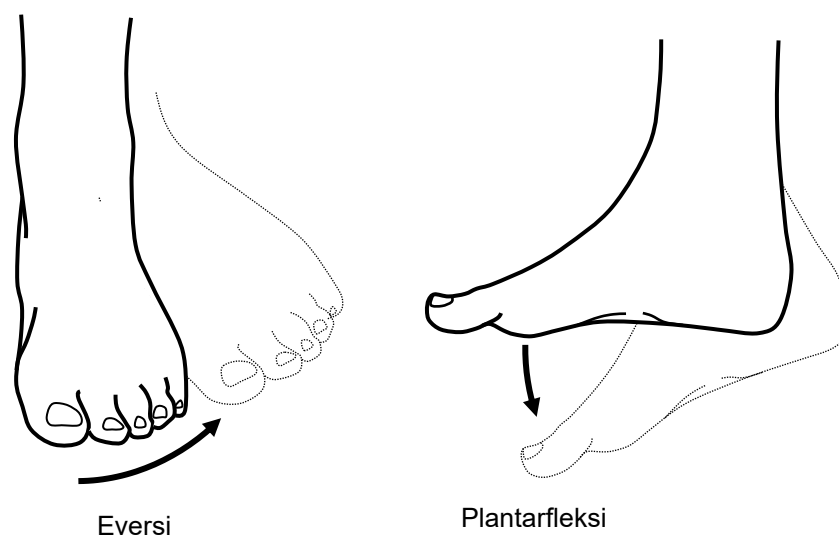
Sumber : Brandes CB, Smith RW, 2000<sup>74</sup>.

Gambar 6 Inserio tendon peroneus longus (1. Tendon peroneus longus; 2. Sesamoid; 3. Frenulum anterior sesamoid; 4. fleksor pendek otot jari kaki kelima; 5. Perluasan fibrous tunnel tendon peroneus longus; 6. frenulum posterior sesamoid; 7. Perlekatan pada cuneiform medial; 8. Perluasan dari Otot dorsal interosseus pertama dan masuk pada sudut superolateral dari leher metatarsal pertama; 9. Origo dorsal interosseus pertama dari



## b. Fisiologi

Fungsi utama tendon peroneus longus adalah untuk melakukan gerakan eversi kaki dan tujuan selanjutnya adalah untuk gerakan plantarfleksi<sup>52</sup>. Tendon peroneus longus berfungsi untuk menggabungkan gerakan-gerakan ini untuk menjaga agar basis metatarsal pertama tetap menempel pada tanah.

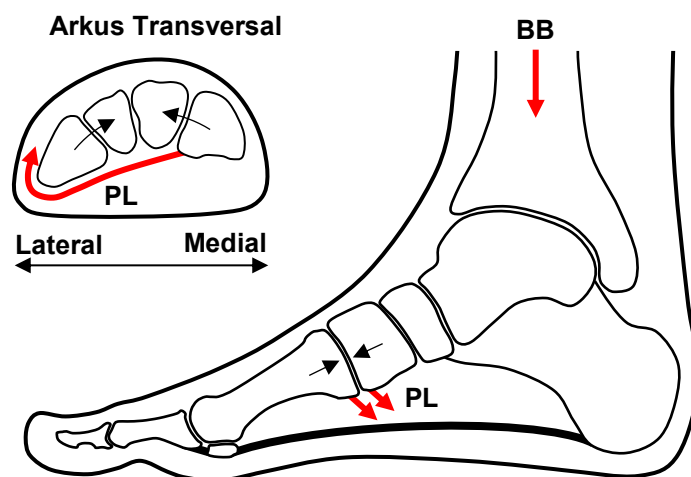


*Gambar 7 Tendon peroneus berperan dalam gerakan ever dan plantarfleksi dari kaki.  
Sumber : Morgan Oliver, Jinsup Song, Hillstrom R, 2020<sup>53</sup>*

Tendon peroneus longus bersama dengan tendon peroneus brevis berkerja bersama untuk menstabilkan kaki utamanya ketika mengalami inversi yang kuat dan terlibat dalam mekanisme cedera ligament kaki lateral. Biasanya disebut sebagai keseleo pergelangan kaki, yang mana merupakan cedera muskuloskeletal yang sering terjadi yang disebabkan akibat inversi atau eversi berlebihan dari kaki<sup>53</sup>.

Secara keseluruhan, struktur dan fungsi kaki saling berkaitan satu dengan yang lainnya dan terdapat variasi fungsi diantaranya<sup>54-56</sup>. Kokubo dkk, mengungkapkan bahwa terdapat pengaruh tibialis posterior dan peroneus

longus terhadap kekakuan arkus longitudinal medial<sup>57</sup>. Secara struktur, tendon peroneus longus berkontribusi baik secara aktif maupun pasif dalam menstabilkan dan “mengunci” metatarsal pertama terhadap tulang cuneiform. Torsi metatarsal pertama diungkapkan oleh Johnson dan Christensen guna mempererat ligamen bagian tengah kaki, menstabilkan kolom medial, dan menjaga integritas arkus transversal<sup>58</sup>. Bohne dkk, mendemonstrasikan adanya peningkatan yang signifikan terhadap pergeseran medial dari arkus transversal setelah transeksi peroneus longus<sup>59</sup>.



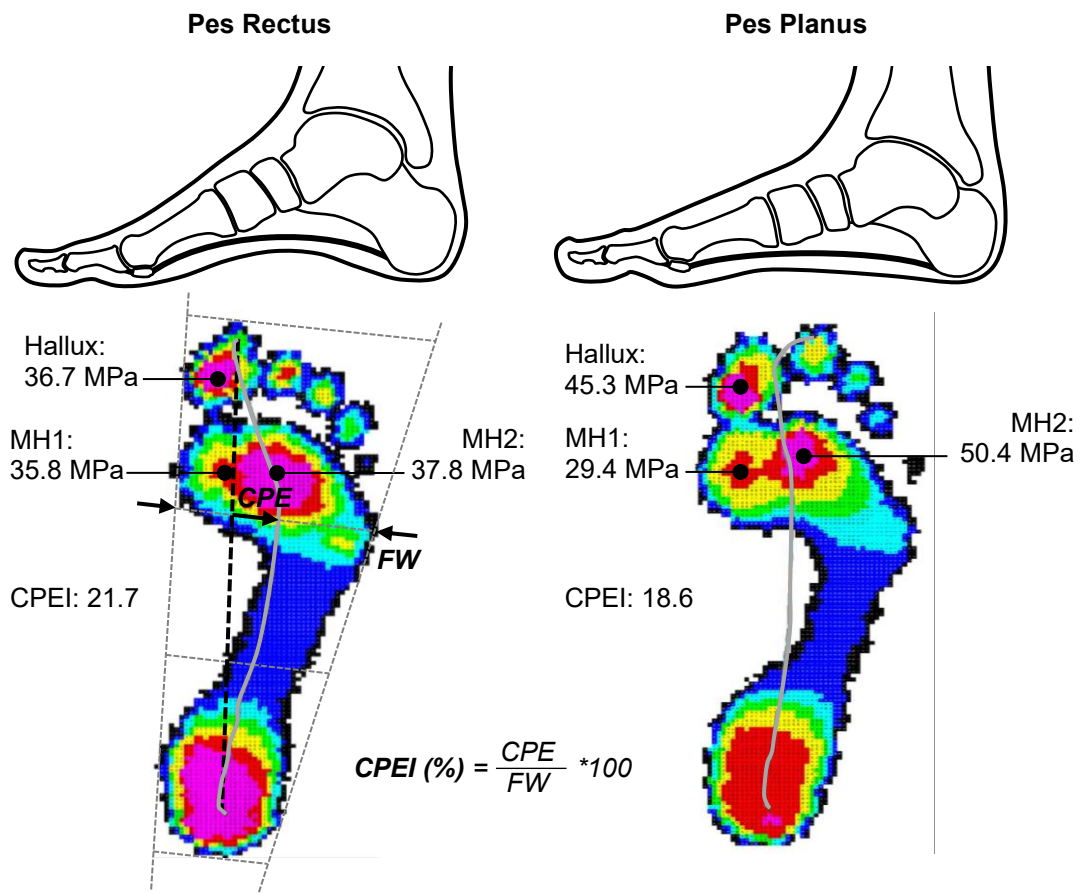
Gambar 8 Tendon peroneus longus (PL) “mengunci” sendi metatarsocuneiform ketika kaki memikul beban dari berat badan (BB). Arkus transversal distabilisasi oleh kontraksi/tarikan peroneus longus.  
Sumber : Morgan Oliver, Jinsup Song, Hillstrom R, 2020<sup>53</sup>

### c. Biomekanik

Otot peroneus mengerahkan sekitar 63% dari total kerja yang diperlukan untuk mengeversikan kaki bagian belakang sedangkan 4% untuk melakukan plantarfleksi kaki. Otot ini menyeimbangkan kekuatan dari tendon tibialis posterior, fleksor hallucis longus dan fleksor digitorum longus sebagai *support* anggota gerak bawah. Otot dan tendon tersebut berkontraksi secara eksentrik

dari 12% siklus *gait* sampai kaki rata pada fase *midstance gait*. Ketika tumit mulai terangkat, maka otot-otot peroneus akan berkontraksi secara konsentris, meningkatkan fleksibilitas sendi metatarsophalangeal pertama dan transfer beban dari kaki bagian depan ke kaki bagian belakang<sup>60</sup>.

Pada kaki yang normal (*pes resktus*), peroneus longus berperan dalam eversi kaki bagian belakang dan plantarfleksi baris metatarsal pertama agar tetap menyentuh tanah dan menahan beban. Tekanan paling tinggi terjadi pada caput metatarsal diikuti oleh metatarsal kedua dan ketiga. Sebagaimana dijelaskan dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Hillstrom HJ dkk, dimana diperoleh sebanyak 61 pasien tanpa adanya gejala terkait kaki, puncak tekanan dari caput metatarsal pertama turun ke caput metatarsal kedua pada kaki datar (*pes planus*) (n=22) bila dibandingkan dengan *pes rectus* (n=27)<sup>56</sup>.



Gambar 9 Pes rectus dan planus yang menunjukkan adanya perbedaan biomekanik. Distribusi tekanan pada pes planus mendemonstrasikan adanya perpindahan lateral tekanan ke kaki bagian depan dari metatarsal pertama - kedua, yang menyebabkan mobilitas yang lebih besar pada metatarsal pertama. MH1, first metatarsal head; MH2, second metatarsal head; FW, foot width; CPE, center of pressure excursion; CPEI, center of pressure excursion index. Sumber : Morgan Oliver, Jinsup Song, Hillstrom R, 2020<sup>53</sup>.

Hinterman dkk melakukan penelitian dengan menggunakan kadal sehubungan dengan perpindahan dan lengan momen dari peroneus longus dan brevis selama fleksi-ekstensi<sup>61</sup>. Tendon peroneus longus merupakan salah satu evertor terkuat utamanya saat kaki dalam keadaan ekstensi, namun kekuatannya berkurang saat kaki difleksikan. Hilangnya fungsi eversi peroneus pada saat fleksi relevan untuk memahami mekanisme cedera pada keseleo pergelangan kaki lateral. Cedera ini lebih sering terjadi saat kaki dalam kondisi fleksi.

Berkurangnya kemampuan eversi tendon peroneus longus selama fleksi dapat mengurangi kemampuannya untuk menstabilkan pergelangan kaki, yang menunjukkan adanya potensi mekanis untuk cedera pergelangan kaki. Stabilisasi pasif pergelangan kaki dari tendon peroneus longus ditunjukkan dalam penelitian menggunakan cadaver yang dilakukan oleh Ziai dkk, dimana dalam penelitian ini dikomponenkan bahwa transeksi peroneus longus menyebabkan penurunan torsi sebesar 18% (0,9 Nm) bila dibandingkan dengan tendon yang utuh<sup>62</sup>.

### **2.1.3. Pengukuran Hasil Fungsional Rekonstruksi Ligamen**

Pasien yang telah menjalani tindakan operasi rekonstruksi ligamen lutut selanjutnya akan menjalani program rehabilitasi. Pasien dilatih dengan latihan menggunakan beban parsial pada bagian kaki yang sudah dioperasi selama 3 minggu setelah tindakan operasi, setelah itu dapat menggunakan beban penuh. Ekstensi lutut dilakukan segera setelah tindakan operasi dilakukan. Fleksi lutut biasanya di mulai dari 0° sampai 90° (ditingkatkan secara perlahan) selama 3 minggu setelah operasi dan dilanjutkan sampai fleksi penuh. Pasien diijinkan untuk *jogging* setidaknya setelah 2 bulan paska operasi. Pasien dapat kembali berolahraga setelah menjalani tes fungsional pada 6 bulan paska operasi. Pemeriksaan yang dapat dilakukan untuk evaluasi luaran paska operasi diantaranya adalah tes anterior drawer, tes lachman dan tes lompat<sup>63</sup>.

Selain evaluasi fungsional, pemeriksaan terhadap kekuatan otot paska tindakan rekonstruksi ligamen lutut juga perlu untuk dilakukan. Hal tersebut dilakukan untuk menilai keberhasilan regenerasi dan eskalasi massa otot selama program rehabilitasi<sup>63</sup>.

Penilaian kekuatan otot, salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan dinamometri. Secara umum, dinamometri dapat mengukur produksi tekanan selama terjadinya berbagai jenis proses kontraksi dari otot manusia, diantaranya :

1. Kontraksi isometrik
2. Kontraksi konsentrik
3. Kontraksi eksentrik
4. Kontraksi isokinetik
5. *Stretch shortening cycle*

Kontraksi otot didefinisikan sebagai proses isometrik ketika otot distimulasi secara konstan, tanpa membiarkan bagian ujung otot mendekat. Sebuah penelitian yang melibatkan kontraksi isometrik yang dilakukan di sebuah laboratorium terhadap otot yang diisolasi, untuk menilai kekuatan yang terbentuk oleh otot terkait dengan waktu. Evaluasi isometrik dari fungsi otot saat ini dipertimbangkan sebagai metode penelitian yang valid untuk mempelajari karakteristik biomekanis dari otot rangka<sup>64</sup>. Secara umum, jenis pemeriksaan ini digunakan untuk mengukur gaya maksimum isometrik maupun produksinya sebagai fungsi waktu (*RFD, Rate of Force Development*). Namun, selama beberapa tahun, kemampuan tes kekuatan isometrik terkait sifat dinamis otot masih dipertanyakan<sup>65</sup>.

Kedepannya penggunaan tes pengukuran gaya isometrik dilakukan untuk mengukur RFD gaya isometrik. Dengan tujuan ini, protokol yang berbeda digunakan. Secara umum, RFD diinterpretasikan sebagai puncak maksimum pada kurva gaya terhadap waktu. Interval perhitungan RFD mulai dari rentang 5 sampai 100 ms<sup>66</sup>. Pada beberapa penelitian lainnya, pengukuran RFD dilakukan berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai persentase tertentu dari gaya isometrik maksimal<sup>66-68</sup>. Dasar umum dari semua protokol pengukuran RFD adalah

penilaian terhadap kemampuan untuk membentuk gaya isometrik yang dapat diterima secara persentase dalam waktu yang singkat<sup>68</sup>.

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Viitasalo dan Aura, dikatakan bahwa RFD isometrik lebih berhubungan dengan performa lompatan ( $r=0.9$ ), atau menjadi parameter penting yang mempengaruhi performa dinamis, bila dibandingkan dengan nilai sederhana gaya isometrik maksimal<sup>68,69</sup>. Salah satu hal penting yang dikaitkan dengan pengukuran atau evaluasi isometrik adalah spesifisitas nilai gaya yang dikaitkan dengan sudut sendi. Nilai gaya isometrik sangat erat hubungannya dengan pengukuran sudut sendi, hal ini berkaitan dengan fakta bahwa perbedaan sudut sendi juga berkaitan dengan derajat penutupan miofilamen aktin dan myosin yang berbeda-beda<sup>69</sup>.

Tabel 1 Prinsip Dasar Pemeriksaan dengan Dinamometri (Isometrik, Isotonik dan Isokinetik)

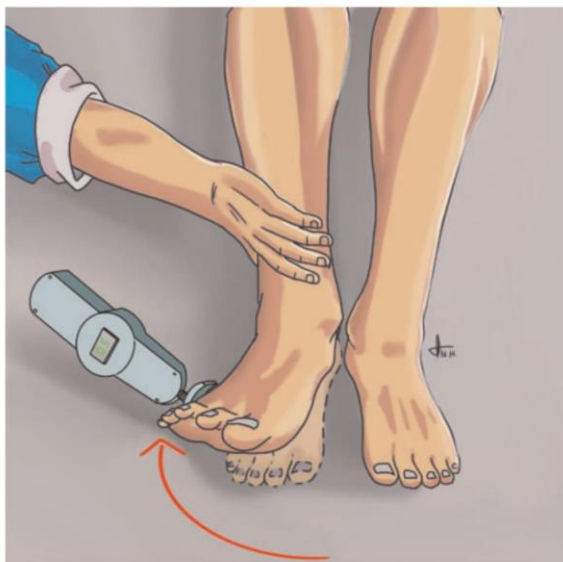
Tes Isometrik	Tes Isotonik	Tes Isokinetik
Melakukan pemanasan yang tepat	Melakukan pemanasan yang tepat	Melakukan pemanasan yang tepat
Mengisolasi kelompok otot secara biomekanis yang akan di lakukan tes	Mengisolasi kelompok otot secara biomekanis yang akan di lakukan tes	Mengisolasi kelompok otot secara biomekanis yang akan di lakukan tes
Melakukan standarisasi	Melakukan standarisasi ROM	Melakukan standarisasi ROM
Memulai tes pada anggota gerak yang sehat	Memulai tes pada anggota gerak yang sehat	Memulai tes pada anggota gerak yang sehat
Terapkan kontraksi isometrik dengan intensitas progresif selama 3 sampai 5 detik	Terapkan kecepatan maksimal selama pergerakan	Atur pusat rotasi sendi dengan pusat rotasi perangkat mekanis
Berikan semangat kepada pasien selama dilakukan tes	Berikan semangat kepada pasien selama dilakukan tes	Berikan semangat kepada pasien selama dilakukan tes
Lakukan setidaknya tiga percobaan dengan waktu <i>recovery</i> yang adekuat ditiap percobaan (sekitar 1 menit 30 detik)	Lakukan setidaknya satu set dengan 6-10 kali repetisi	Kurangi berat anggota gerak dari perhitungan momen gaya (biasanya otomatis dari perangkat)
Tentukan nilai puncak	Tentukan nilai rata-rata dan	Tentukan nilai rata-rata

	nilai puncak	dan nilai puncak
Periksa tanda nyeri dengan menggunakan VAS	Periksa tanda nyeri dengan menggunakan VAS	Periksa tanda nyeri dengan menggunakan VAS
Hentikan pemeriksaan bila terdapat nyeri hebat (VAS>3)	Hentikan pemeriksaan bila terdapat nyeri hebat (VAS>3)	Hentikan pemeriksaan bila terdapat nyeri hebat (VAS>3)
Nilai dinamometri setidaknya $\geq 90\%$ dalam kondisi <i>pre-injury</i> atau $\geq 90\%$ pada anggota gerak kontralateral.	Nilai dinamometri setidaknya $\geq 90\%$ dalam kondisi <i>pre-injury</i> atau $\geq 90\%$ pada anggota gerak kontralateral.	Lakukan satu set pemeriksaan dengan 6-10 repetisi pada kecepatan rendah ( $30^\circ/s$ - $60^\circ/s$ ) dan satu set pada kecepatan tinggi ( $>300^\circ/s$ )
		Lakukan setidaknya satu eksentrik tes pada $60^\circ/s$ atau $30^\circ/s$
		Tentukan nilai sudut sendi sesuai dengan produksi puncak gaya
		Tentukan nilai kerja mekanis
		Tentukan bentuk kurva
		Tentukan nilai rasio HS (modalitas konsentrik) terhadap Q (modalitas konsentrik) dan nilai rasio HS (modalitas eksentrik) terhadap Q (modalitas konsentrik)
		Lakukan tes dengan <i>recovery</i> yang adekuat setiap set nya (~2-3 menit)
		Nilai dinamometri setidaknya $\geq 90\%$ dalam kondisi <i>pre-injury</i> atau $\geq 90\%$ pada anggota gerak kontralateral.

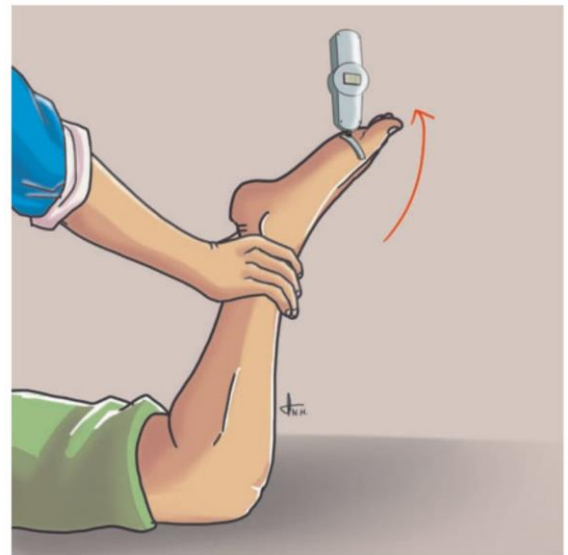
Sumber : Ruschel dkk, 2015; Van Driessche dkk, 2018; Bisciotti dkk, 2016<sup>70-72</sup>.

Pemeriksaan dinamometri pada pasien pasca operasi rekonstruksi ligamen dilakukan dengan eversi bilateral dan plantarfleksi metatarsal pertama. Setiap pemeriksaan setidaknya dilakukan sebanyak tiga kali, dengan hasil tertinggi yang dicatat. Eversi diukur dengan posisi dekubitus kontralateral. Kedua maleolus medial bersentuhan, Pasien diminta untuk melakukan eversi dari pergelangan kaki. Dinamometri diletakkan pada metatarsal kelima. Regio kruris pasien secara lembut ditahan untuk meminimalkan pergerakan akibat otot lain, dan kekuatan otot dicatat dari dinamometri<sup>63</sup>.

Gerakan plantarfleksi dilakukan dalam posisi tengkurap. Sendi lutut ipsilateral difleksikan 90°. Bagian distal ipsilateral dari regio kruris ditahan oleh pemeriksa menggunakan tangan untuk mengurangi pergerakan otot lain. Pasien diminta untuk melakukan gerakan plantarfleksi dengan dinamometri diletakkan pada distal metatarsal pertama – kelima<sup>63</sup>.



Gambar 10 Pengukuran Kekuatan Eversi  
Sumber : Rhatomy S dkk, 2019<sup>63</sup>.



Gambar 11 Pengukuran Kekuatan Plantarfleksi  
Sumber : Rhatomy S dkk, 2019<sup>63</sup>.



#### **2.1.4. Pengukuran Hasil Fungsional Ankle Paska Pemanenan (AOFAS dan FADI Score)**

Sistem penilaian hasil fungsional adalah hal yang umum di seluruh bidang ortopedi. Hunt dan Lakey mendefinisikan metrik hasil yang dilaporkan pasien dapat digunakan sebagai alat untuk mengetahui status kesehatan pasien selama episode perawatan untuk pengobatan cedera<sup>87</sup>.

a. Skor AOFAS (*Ankle-Hindfoot American Orthopaedic Foot and Ankle Society*)

Instrumen yang sering digunakan untuk menilai hasil setelah cedera pergelangan kaki dan kaki belakang adalah skor Ankle-Hindfoot American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS). Sistem pemeringkatan klinis ini, yang dikembangkan oleh Kitaoka dkk, menggabungkan skor subjektif nyeri dan fungsi yang diberikan oleh pasien dengan skor objektif berdasarkan pemeriksaan fisik pasien oleh ahli bedah (untuk menilai gerakan sagital, gerakan kaki belakang, stabilitas dan kesejajaran pergelangan kaki-kaki belakang). Pergelangan kaki-kaki belakang). Skala ini mencakup sembilan komponen yang dapat dibagi menjadi tiga subskala (nyeri, fungsi, dan keselarasan). Nyeri terdiri dari satu komponen dengan skor maksimal 40 poin yang menunjukkan tidak nyeri. Fungsi terdiri dari tujuh komponen dengan skor maksimal 50 poin,

menunjukkan fungsi penuh. Alignment terdiri dari satu komponen dengan skor maksimal 10 poin, menunjukkan keselarasan yang baik. Skor maksimal adalah 100 poin, menunjukkan tidak ada gejala atau gangguan. Dalam publikasi aslinya, skor AOFAS dijelaskan untuk digunakan untuk penggantian pergelangan kaki, artrodesis pergelangan kaki, operasi ketidakstabilan pergelangan kaki, artrodesis subtalar, operasi ketidakstabilan subtalar, artrodesis talonavicular, artrodesis calcaneocuboid, osteotomi calcaneal, fraktur kalkaneus, fraktur talus dan fraktur pergelangan kaki<sup>88</sup>.

b. Skor FADI (*Foot and Ankle Disability Index*)

Salah satu kuesioner yang paling banyak digunakan untuk kelainan kaki dan pergelangan kaki adalah *Foot and Ankle Disability Index* (FADI), yang pertama kali dijelaskan pada tahun 1999 oleh Martin dkk, terdiri dari 22 komponen terkait aktivitas dan 4 komponen terkait nyeri<sup>89</sup>. Kualitas klinimetri didokumentasikan secara luas untuk FADI, dan khususnya telah dianggap sebagai alat penilaian pasien yang andal dan sensitif untuk mengukur disabilitas fungsional pada pasien dengan ketidakstabilan pergelangan kaki kronis<sup>90</sup>. Keuntungan besar FADI dibandingkan skala penilaian lainnya terletak pada kemungkinan komplikasi pasien jarak jauh<sup>91</sup>. Atlet dengan ketidakstabilan pergelangan kaki kronis akan mendapatkan manfaat dari FADI<sup>92</sup>.

Kuesioner khusus FADI untuk kaki dan pergelangan kaki terdiri dari total 26 komponen, dikelompokkan ke dalam tiga kategori pertanyaan berbeda: 16 komponen (1-16) terkait dengan berjalan, 6 komponen (17-22) terkait aktivitas sehari-hari, dan 4 komponen (23- 26) kesakitan. Setiap komponen dapat dinilai pada skala Likert 5 poin (dari nol hingga empat), dengan total skor

maksimum 104 poin; skor dapat diubah menjadi persentase jika diperlukan perbandingan dengan kuesioner lainnya. Skor terbaik (104) berhubungan dengan tidak adanya kesulitan dalam aktivitas sehari-hari dan tidak adanya rasa sakit; skor minimum nol (0) menunjukkan kondisi terburuk yang mungkin terjadi, yaitu keterbatasan parah dalam berjalan dan aktivitas sehari-hari serta adanya nyeri<sup>91</sup>.

Menurut penelitian yang dilakukan Saoji A. dkk, yang meninjau hasil fungsi pergelangan kaki setelah pembedahan peroneus longus secara tinjauan sistematis dan meta-analisis didapatkan sebanyak 12 penelitian mengevaluasi skor AOFAS pada 537 pasien yang diobati dengan autograf peroneus longus menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam rata-rata skor pra-operasi dan paska-operasi dengan perbedaan rata-rata skor AOFAS sebesar 1,92 (95% CI 1,021–3,123; p0,05). Enam penelitian mengevaluasi skor FADI pada 337 pasien yang diobati dengan autograf PL menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam rata-rata skor pra-operasi dan paska-operasi dengan perbedaan rata-rata skor FADI sebesar 1,50 (95% CI=0,561–2,445; p0,05)<sup>93</sup>.

Namun, menurut Saoji A. dkk, pada meta-analisis ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik dalam hasil fungsional pergelangan kaki pra-operasi dan paska-operasi (skor AOFAS dan FADI) setelah panen autocangkok peroneus longus. Meskipun signifikan secara statistik, besarnya perbedaan antara hasil fungsional pra operasi dan paska operasi kecil, khususnya 1,92 (95% CI 1,021–3,123) untuk AOFAS dan 1,50 (95% CI 0,561–2,445) untuk skor FADI. Hal ini mungkin menunjukkan dampak klinis yang minimal terhadap hasil fungsional pergelangan kaki<sup>93</sup>.

**I. Pain (40 points)**

<input type="checkbox"/> None	+40
<input type="checkbox"/> Mild, occasional	+30
<input type="checkbox"/> Moderate, daily	+20
<input type="checkbox"/> Severe, almost always present	+0

*Sagittal motion (flexion plus extension)*

<input type="checkbox"/> Normal or mild restriction (30° or more)	+8
<input type="checkbox"/> Moderate restriction (15° - 29°)	+4
<input type="checkbox"/> Severe restriction (less than 15°)	+0

**II. Function (50 points)***Activity limitations, support requirements*

<input type="checkbox"/> No limitations, no support	+10
<input type="checkbox"/> No limitation of daily activities, limitations of recreational activities, no support	+7
<input type="checkbox"/> Limited daily and recreational activities, cane	+4
<input type="checkbox"/> Severe limitation of daily and recreational activities, walker, crutches, wheelchair, brace	+0

*Hindfoot motion (inversion plus eversion)*

<input type="checkbox"/> Normal or mild restriction (75% - 100% normal)	+6
<input type="checkbox"/> Moderate restriction (25% - 74% normal)	+3
<input type="checkbox"/> Marked restriction (less than 25% of normal)	+0

*Maximum walking distance, blocks*

<input type="checkbox"/> Greater than six	+5
<input type="checkbox"/> Four-six	+4
<input type="checkbox"/> One-three	+2
<input type="checkbox"/> Less than one	+0

*Ankle-hindfoot stability (anteroposterior, varus-valgus)*

<input type="checkbox"/> Stable	+8
<input type="checkbox"/> Definitely unstable	+0

*Walking surfaces*

<input type="checkbox"/> No difficulty on any surface	+5
<input type="checkbox"/> Some difficulty on uneven terrain, stairs, inclines, ladders	+3
<input type="checkbox"/> Severe difficulty on uneven terrain, stairs, inclines, ladders	+0

**III. Alignment (10 points)**

<input type="checkbox"/> Good, plantigrade foot, ankle-hindfoot well aligned	+10
<input type="checkbox"/> Fair, plantigrade foot, some degree of ankle-hindfoot malalignment observed, no symptoms	+5
<input type="checkbox"/> Poor, nonplantigrade foot, severe malalignment, symptoms	+0

*Gait abnormality*

<input type="checkbox"/> None, slight	+8
<input type="checkbox"/> Obvious	+4
<input type="checkbox"/> Marked	+0

**IV. Total Score (100 points):**

\_\_\_\_\_ Pain Points +

\_\_\_\_\_ Function Points +

\_\_\_\_\_ Alignment Points =

\_\_\_\_\_ Total Points/100 points

© American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Inc. The tools listed on this website do not substitute for the informed opinion of a licensed physician or other health care provider. All scores should be re-checked. Please see our full Terms of Use.

Gambar 13 AOFAS Score

## The Foot & Ankle Disability Index (FADI) Score

Clinician's name (or ref) \_\_\_\_\_

Patient's name (or ref) \_\_\_\_\_

Please answer every question with one response that most closely describes your condition within the past week. If the activity in question is limited by something other than your foot or ankle, mark N/A

	No difficulty at all	Slight difficulty	Moderate difficulty	Extreme difficulty	Unable to do
1. Standing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Walking on even ground	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Walking on even ground without shoes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Walking up hills	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Walking down hills	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Going up stairs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Going down stairs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Walking on uneven ground	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Stepping up and down curves	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Squatting	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
11. Sleeping	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Coming up to your toes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Walking initially	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Walking 5 minutes or less	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. Walking approximately 10 minutes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
16. Walking 15 minutes or greater	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Home responsibilities	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. Activities of daily living	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. Personal care	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Light to moderate work (standing, walking)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
21. Heavy work (push/pulling, climbing, carrying)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Recreational activities	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	NO PAIN	MILD	MODERATE	SEVERE	UNBEARABLE
23. General level of pain	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Pain at rest	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Pain during your normal activity	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
26. Pain first thing in the morning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Thank you very much for completing all the questions in this questionnaire.

**The Foot & Ankle Disability Index (FADI) Score is**

Gambar 14 FADI Score

### 2.1.5. MRI

Perkembangan dalam bidang pencitraan resonansi magnetik (MRI) untuk digunakan dalam penegakan diagnosis medis merupakan lompatan besar dalam bidang medis. Penggunaan MRI dapat menghindarkan dari paparan pengion yang berpotensi berbahaya. Dengan biaya yang lebih murah dan ketersediaan yang lebih baik, penggunaan MRI menjadi semakin luas dalam praktis klinis<sup>75</sup>.

Fenomena resonansi magnetik nuklir (NMR) pertama kali dijelaskan secara eksperimental oleh Bloch dan Purcell pada tahun 1946, dan keduanya dianugerahi Hadiah Nobel Fisika pada tahun 1952<sup>76</sup>. Teknik ini berkembang pesat sejak saat itu. Gambar resonansi magnetik klinis pertama kali dilakukan di Nottingham dan Aberdeen pada tahun 1980 dan saat ini MRI menjadi alat klinis yang canggih dalam penegakan diagnosis dan tersedia secara luas<sup>75</sup>.

MRI sendiri merupakan salah satu metode non-invasif yang memetakan struktur internal dan fungsi aspek tertentu dari tubuh. Metode ini menggunakan radiasi elektromagnetik non-ionisasi dan tanpa bahaya terkait paparan. MRI menggunakan radiasi frekuensi radio (RF) dan medan magnet yang dikontrol dengan hati-hati untuk menghasilkan gambar *cross-sectional* berkualitas dari tubuh dalam bidang apapun. Gambar dari MRI diperoleh dengan menempatkan pasien dalam sebuah medan magnet besar, yang menginduksi medan magnet eksternal yang relative kuat. Hal ini menyebabkan inti dari banyak atom di tubuh, termasuk hydrogen, tersusun mengikuti medan magnet dan kemudian akan ditangkap oleh frekuensi radio, energi yang dilepaskan oleh tubuh, terdeteksi dan digunakan untuk membentuk gambar MRI dari komputer<sup>77</sup>.

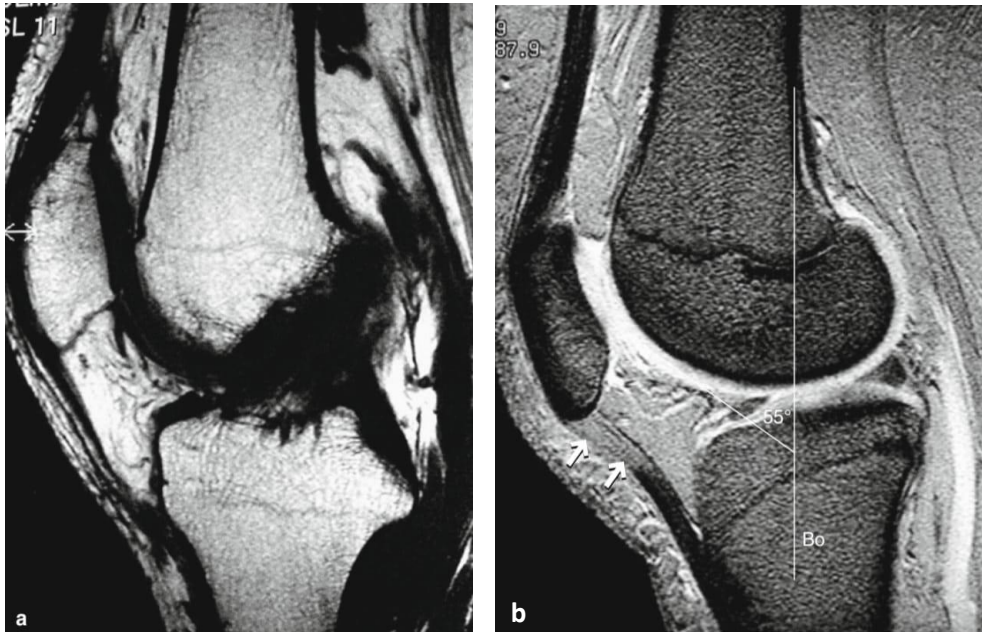
MRI sering digunakan untuk menilai atau mendiagnosis kondisi yang

utamanya melibatkan jaringan lunak seperti : tumor, termasuk kanker, cedera jaringan lunak seperti kerusakan ligamen atau cedera sendi, cedera tulang belakang dan cedera yang melibatkan organ internal seperti otak, jantung dan saluran cerna<sup>77</sup>. Terdapat gambar kontras yang berbeda dari jenis MRI. T1 *weighted* MRI menangkap lebih banyak sinyal dari jaringan lemak dan menekan sinyal dari air. Sedangkan T2 *weighted* MRI menangkap lebih banyak sinyal dari air<sup>78</sup>.

Gambar T1 *weighted* dihasilkan oleh waktu repetisi yang singkat antara sinyal RF dan sinyal *recovery* yang singkat. Jaringan dengan T1 yang pendek akan menghasilkan sinyal MR yang intens dan tampak sebagai gambar yang terang pada gambar MRI T1 *weighted*. Jaringan dengan T1 yang panjang akan menghasilkan sinyal dengan intensitas rendah dan tampak lebih gelap pada gambar MRI<sup>79</sup>.

Gambar T2 *weighted* dihasilkan dari waktu repetisi yang panjang antara sinyal RF dan sinyal waktu *recovery* yang lama. Jaringan dengan T2 yang panjang menghasilkan sinyal dengan intensitas yang tinggi dan nampak terang pada gambar hasil MRI. Sedangkan jaringan dengan T2 yang pendek menghasilkan sinyal dengan intensitas rendah dan nampak gelap pada gambar MRI<sup>80</sup>.

Kontras gambar dari berbagai jaringan dalam tubuh dimanipulasi oleh MRI dengan berbagai tingkat dimana sinyal RF di transmisikan. Waktu repetisi yang singkat (TR) 500msec antara sinyal dan waktu *recovery* (TE) yang singkat 20msec menghasilkan gambar T1 *weighted*. TR yang panjang (200msec) dan TE yang panjang (80msec) menghasilkan gambar T2 *weighted*. Untuk setiap diagnostik, operator harus menentukan sekuens gambar mana yang sebaiknya dipilih untuk menghasilkan gambar yang optimal<sup>79</sup>.



Gambar 15 Foto lutut hasil dari Pemeriksaan MRI (a) T1 Weighted MRI; (b) T2 Weighted MRI.

Sumber : *Magnetic Resonance Imaging of The Knee*, 2013<sup>81</sup>.

Gambar T1 *weighted* disebut sebagai gambar lemak karena lemak mempunyai T1 *relaxation time* paling pendek dan sinyal paling kecil dari kebanyakan organ lainnya. Gambar MRI T1 *weighted* berguna dalam memetakan bagian kecil anatomi (seperti TMJ) dimana membutuhkan resolusi spasial yang tinggi<sup>79</sup>. Gambar T2 *weighted* disebut gambar air karena air memiliki T2 *relaxation time* yang paling panjang dan tampak terang pada gambar. Gambar MRI T2 *weighted* umumnya digunakan bila dokter ingin mencari adanya perubahan akibat inflamasi dan tumor<sup>80</sup>.

Selain memiliki keunggulan, MRI juga memiliki kekurangan diantaranya<sup>78</sup>:

1. Claustrofobia, adanya ketakutan akan tempat yang sempit. Hal ini terjadi karena pasien ditempatkan dalam sebuah alat dengan waktu 1 jam.
2. Alat atau mesin MRI memiliki harga beli yang sangat mahal, biaya perawatan dan operasional juga sangat besar. *Hardware* dan *softwarena* pun masih dalam pengembangan.

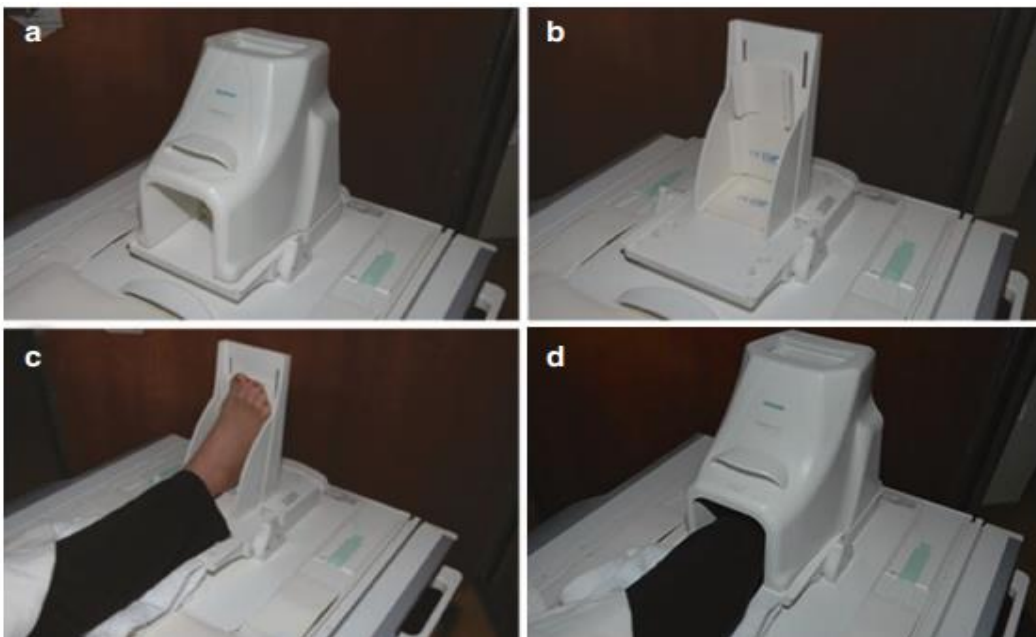
3. Karena MRI menggunakan medan magnet yang kuat, maka pasien dengan alat pacu jantung, defibrilator tanam dan beberapa katup jantung buatan tidak dapat dilakukan pemeriksaan MRI.
4. Gambar hasil MRI dapat terdistorsi dengan adanya logam.
5. Tulang tidak dapat dipindai oleh MRI karena tidak adanya sinyal MR, hanya sinyal dari sumsum tulang yang dapat tertangkap.
6. Alat pindai MRI memiliki suara yang berisik.
7. Pasien dapat mengalami alergi akibat agen kontras yang digunakan atau infeksi pada kulit tempat dilakukannya injeksi.
8. MRI tidak selalu dapat membedakan antara tumor ganas atau jinak, yang bisa menyebabkan hasil yang positif palsu.
9. Tulang, gigi, udara dan objek logam semua tampak hitam, sehingga sulit untuk membedakannya.

### **Evaluasi Peroneus Longus Tendon dengan MRI**

- **Teknik MRI**

Evaluasi MRI pada tendon peroneus longus biasanya dilakukan dengan menggunakan protokol pergelangan kaki rutin pada mesin 1,5 T atau 3,0 T<sup>82,83</sup>. Pergelangan kaki ditempatkan pada inversi/eversi netral dan plantarfleksi sekitar 20° dalam kumparan ekstremitas khusus (Gambar 16). Sedikit plantarfleksi membantu memisahkan tendon peroneus longus di dalam selubung tendon komunis. Rangkaian pencitraan biasanya mencakup T1 *weighted* (anatomi) dan T2 *weighted* atau PD *weighted* dengan saturasi lemak atau STIR (peka terhadap cairan) pada ketiga bidang anatomi (aksial, koronal, dan sagital relatif terhadap tibia distal). Rangkaian T1 *weighted* dilakukan tanpa saturasi lemak. Ketebalan irisan 3 mm digunakan untuk

semua urutan kecuali STIR sagital (ketebalan irisan 4 mm/celah 0,5 mm). Rangkaian gradien echo pada tiga dimensi tambahan dengan ketebalan irisan submilimeter (di institusi kami 0,7 mm) sering digunakan untuk menggambarkan tulang rawan tibiotalar. Cedera pada tendon peroneal biasanya terlihat jelas pada T1 *weighted* dan sensitif terhadap cairan dalam tiga bidang. Namun, cedera peroneus longus bagian distal pada permukaan plantar kaki terkadang lebih baik dievaluasi pada rangkaian tambahan yang sejajar dan tegak lurus terhadap sumbu panjang metatarsal<sup>84</sup>.



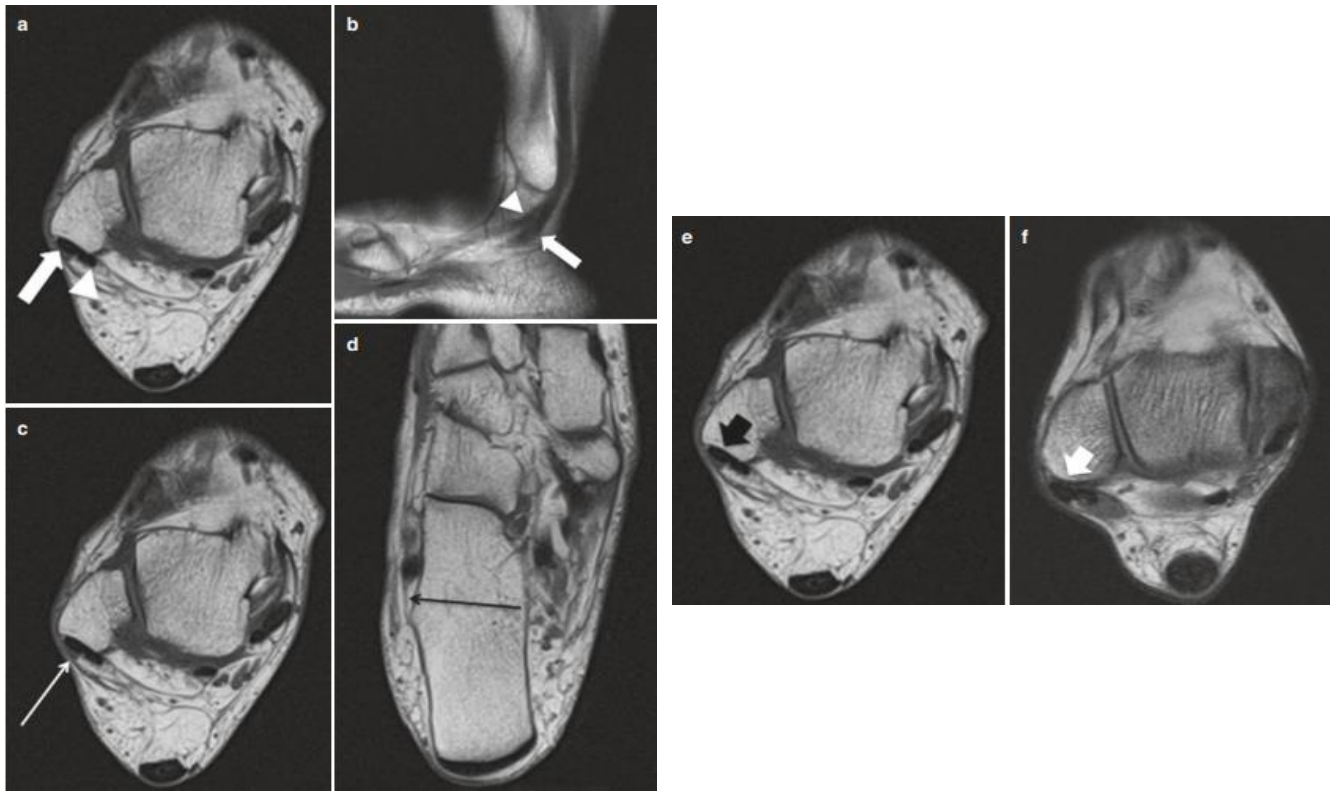
Gambar 16 Kumparan ekstremitas pergelangan kaki khusus. Kulit luar (a) dan penyangga kaki (b) dari kumparan ekstremitas multialiran untuk MRI. MRI pergelangan kaki dilakukan dengan cara pasien dalam posisi terlentang dan sendi pergelangan kaki dalam posisi netral, dengan fleksi plantar sekitar 20° (c). Pada bidang aksial, penggunaan fleksi plantar 20° membantu memisahkan tendon peroneus pada selubung peroneus komunis. (d) Kumparan pergelangan kaki yang sudah terpasang penuh dengan posisi pasien<sup>84</sup>.

- **Temuan Normal dan Jebakan**

Tendon normal memiliki intensitas sinyal yang rendah (hitam) pada semua rangkaian MRI (Gambar 17). Peningkatan sinyal pada semua rangkaian menunjukkan penyakit tendon yang dapat berupa tendinosis atau robekan.

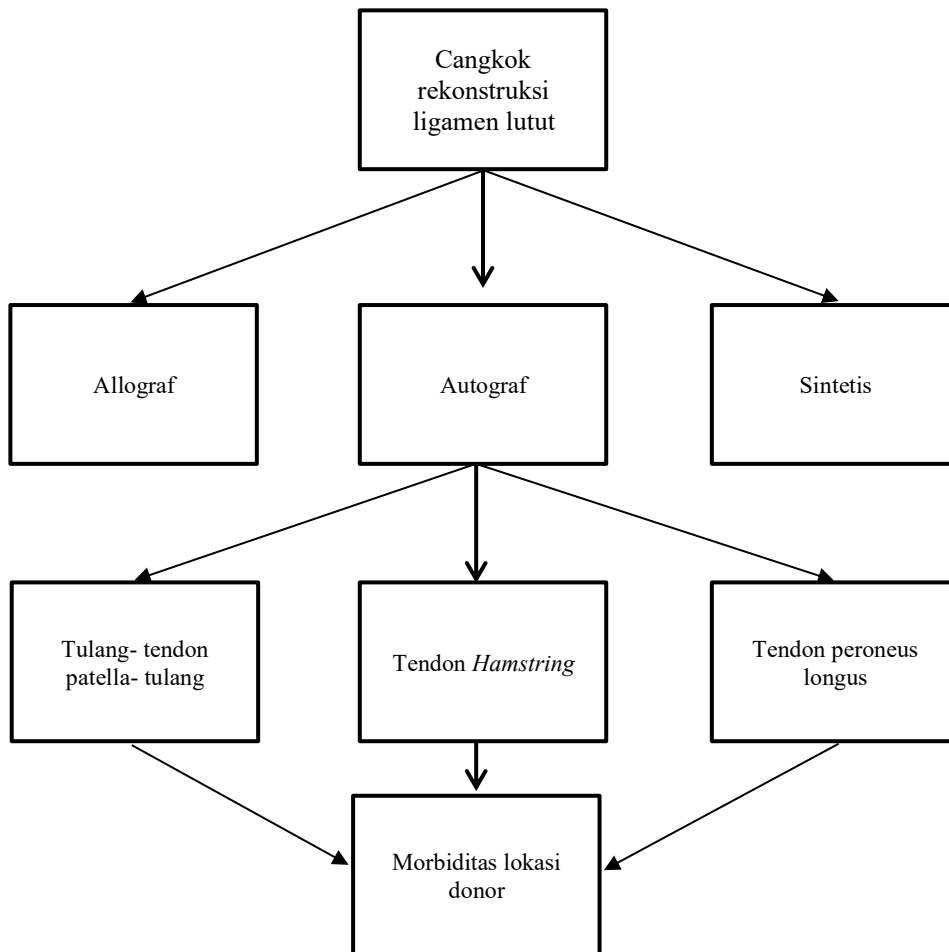
Rangkaian yang peka terhadap cairan dapat membantu mengidentifikasi gangguan tertentu. Heterogenitas sinyal dan penebalan tendon biasanya berhubungan dengan tendinosis, sedangkan defek/cacat fokal yang disertai peningkatan sinyal konsisten dengan robekan parsial pada tendon. Selain itu, jika terdapat kumpulan cairan di sekitar tendon tetapi berada di dalam selubung merupakan ciri khas tenosinovitis. Namun, peningkatan intensitas sinyal juga dapat disebabkan oleh *magic angle effect* dimana struktur yang berorientasi pada sudut kurang lebih  $55^\circ$  terhadap medan magnet dapat meningkatkan sinyal di rangkaian T1 *weighted* (ET < 38 ms)<sup>85</sup>. Plantarfleksi pergelangan kaki hingga  $20^\circ$  membantu meminimalkan efek ini. Selain itu, semua temuan yang dibuat pada rangkaian T1-*weighted* harus diperiksa sesuai gambar rangkaian yang sensitif terhadap cairan untuk menghindari kesalahan diagnosis<sup>84</sup>.

Konfigurasi dan bentuk tendon juga berguna dalam menentukan gangguan tertentu. Di dalam alur retromaleolar, peroneus brevis yang normal berbentuk oval, penampilan datar, atau agak bulan sabit (berbentuk fettuccini) pada urutan aksial, sedangkan peroneus longus memiliki penampang yang lebih bulat atau melingkar (berbentuk spageti)<sup>86,83</sup>. Penampang melintang pada peroneus brevis yang sedikit pipih bukanlah suatu sobekan<sup>84</sup>.



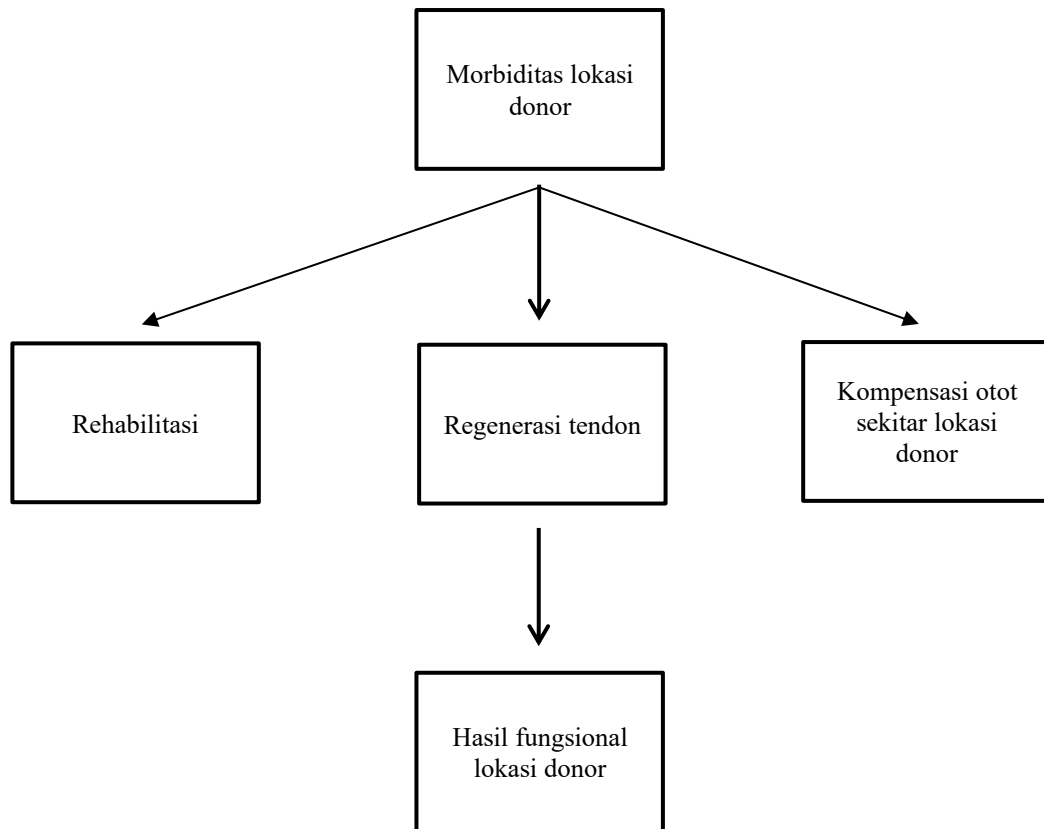
Gambar 17 Tendon peroneus normal, retinakulum peroneal superior (SPR) dan retinakulum peroneal inferior (IPR): (a) Gambar MR T1 weighted aksial menunjukkan anatomi normal dan posisi tendon peroneal. Tendon peroneus longus (panah tebal putih) terletak di anterior tendon peroneus brevis (panah putih) dalam alur retromaleolar. Tendon peroneus brevis agak pipih dan berbentuk bulan sabit, sedangkan tendon peroneus longus berbentuk bulat. (b) Gambar MR sagittal berbobot T1 menunjukkan arah tendon peroneus brevis (panah putih) dan perlekatannya pada dasar metatarsal kelima. Jalur tendon peroneus juga terlihat (panah tebal berwarna putih). Perhatikan sinyal hypointense yang homogen di sepanjang jalur tendon peroneus brevis dan peroneus longus. (c) Gambar MR T1 weighted aksial menunjukkan SPR (panah tipis putih) yang menutupi tendon peroneal pada alur retromaleolar. (d) IPR (panah tipis hitam) ditunjukkan di atas kedua tendon peroneal di kaki belakang. (e) Gambar MR T1 weighted aksial menunjukkan alur retromalleolar cekung yang normal (panah hitam). (f) Kontur retromalleolar cembung dan akakal (panah putih) yang dikaitkan dengan peningkatan risiko ketidakstabilan tendon

## 2.2. KERANGKA TEORI



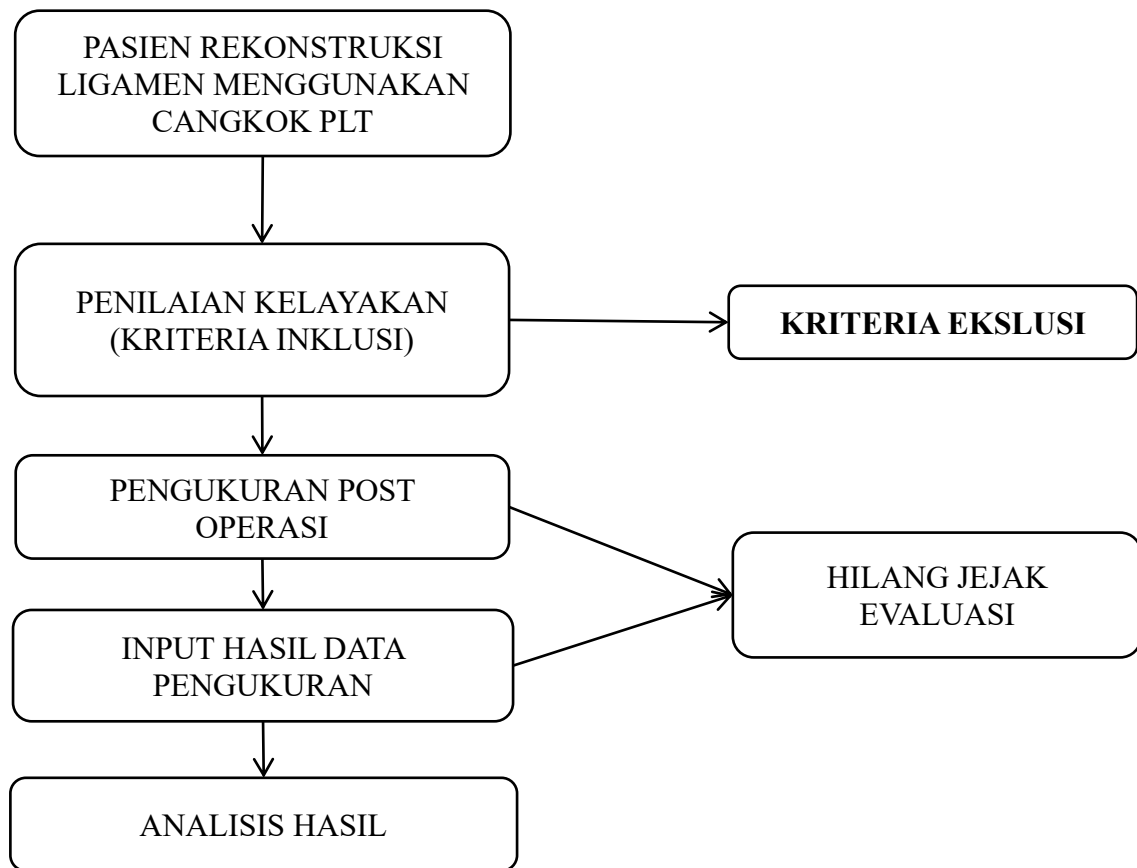
Gambar 18 Kerangka Teori

### 2.3. KERANGKA KONSEP



Gambar 19 Kerangka Konsep

## 2.4. ALUR PENELITIAN



Gambar 20 Alur Penelitian

## 2.5. HIPOTESIS

Berdasarkan rumusan masalah dari uraian yang dikemukakan, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

### 1. Hipotesis nol ( $H_0$ )

Terdapat korelasi ukuran regenerasi PLT dengan hasil fungsional pergelangan kaki, kekuatan plantar fleksi dan eversi pergelangan kaki dibandingkan dengan sisi yang sehat.

2. Hipotesis alternatif (Ha/H1)

Tidak terdapat korelasi ukuran regenerasi PLT dengan hasil fungsional pergelangan kaki, kekuatan plantar fleksi dan eversi pergelangan kaki dibandingkan dengan sisi yang sehat.