

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Anatomi *Pedis*

##### 2.1.1 *Ossa Tarsalia*

*Tarsus* atau pangkal kaki tersusun oleh:

##### A. *Talus*

*Os talus* bersendi diatas dengan *tibia* dan *fibula*, dibawah dengan *os calcaneus*, dan didepan dengan *os naviculare*. Tulang ini mempunyai *caput*, *collum* dan *corpus*.

##### B. *Calcaneus*

Adalah tulang besar dari kaki dan membentuk tumit yang menonjol. Tulang ini bersendi dengan talus di atasnya dan dengan *os cuboideum* didepannya. *Calcaneus* memiliki enam fascies.

##### C. *Naviculare*

*Tuberositas ossis navicularis* bisa dipalpasi pada pinggir medial kaki lebih kurang 1 inci di *inferomedial malleolus medialis* dan merupakan tempat perlekatan tendo *m. tibialis posterior*.<sup>7</sup>

#### D. *Cuneiforme*

Ketiga tulang berbentuk baji yang bersendi dengan *os naviculare* pada bagian proksimalnya dan pada bagian distal bersendi dengan ketiga *ossa metatarsalia* yang pertama.

#### E. *Cuboideum*

Terdapat alur yang dalam pada aspek *inferior*-nya sebagai tempat untuk perlekatan *m. peroneus longus*.

#### F. *Ossa metatarsalia*

*Ossa metatarsalia* dan *phalanges* masing masing mempunyai *caput* di *distal*, *corpus* dan *basis* di proksimal. Kelima *ossa metatarsalia* diberi nomor dari sisi medial ke lateral.

##### a. *Ossa Metatarsale I*

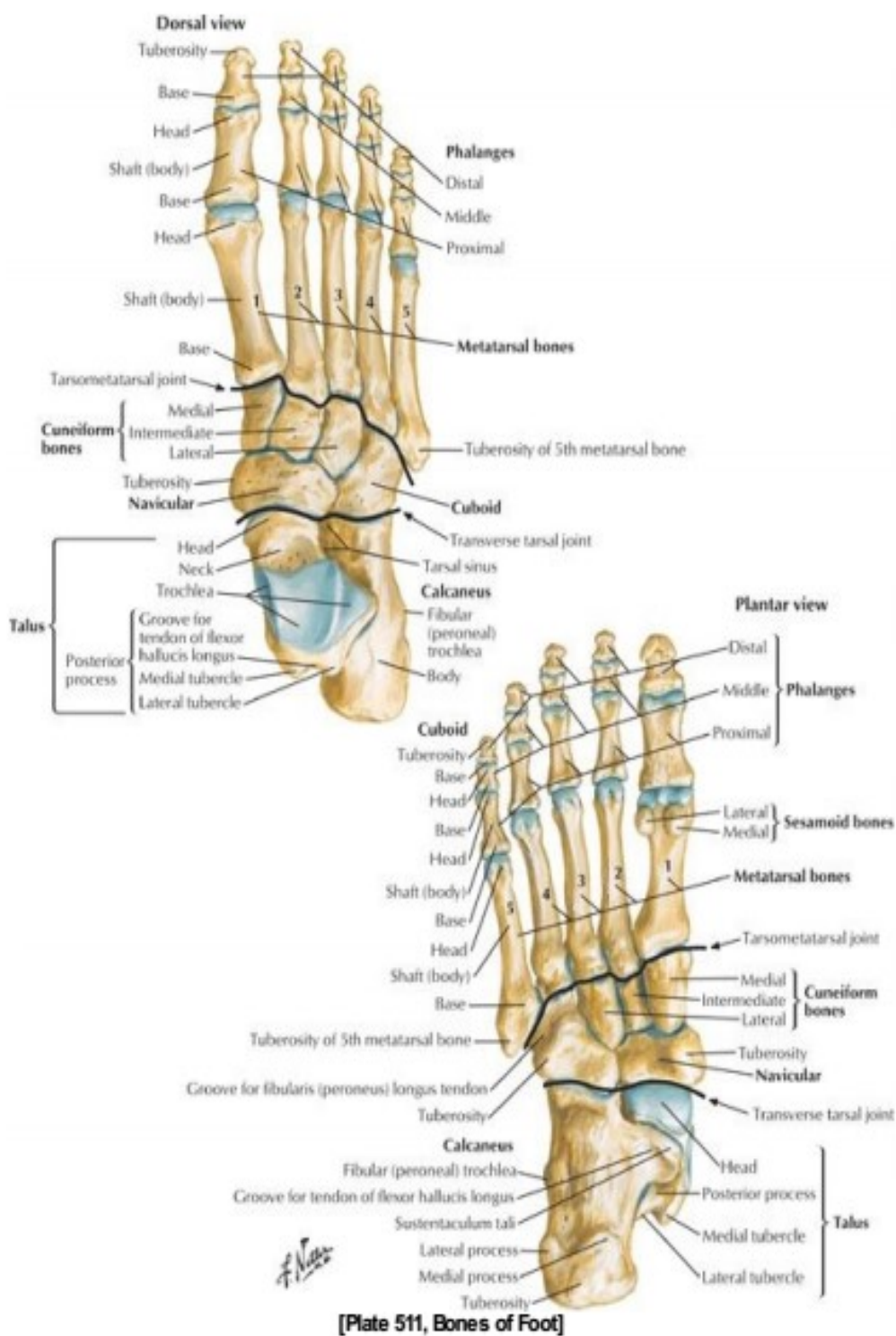
Paling pendek dan paling tebal. Pada basis dari aspek plantar kita jumpai tonjolan yang disebut *tuberositas ossis metatarsalis I*. *Corpus*-nya berisi tiga.

##### b. *Ossa Metatarsale II, III, IV*

*Corpus* disini pipih dari sisi ke sisi

##### c. *Ossa Metatarsale V*

Pipih dari atas ke bawah. Pada sisi ke arah lateral kita jumpai penonjolan disebut *tuberositas ossis metatarsalis V*.<sup>8</sup>



Gambar 1. Anatomi ossa tarsalia, metatarsal, dan phalanx pedis.<sup>9</sup>

### 2.1.2 *Arcus Pedis*

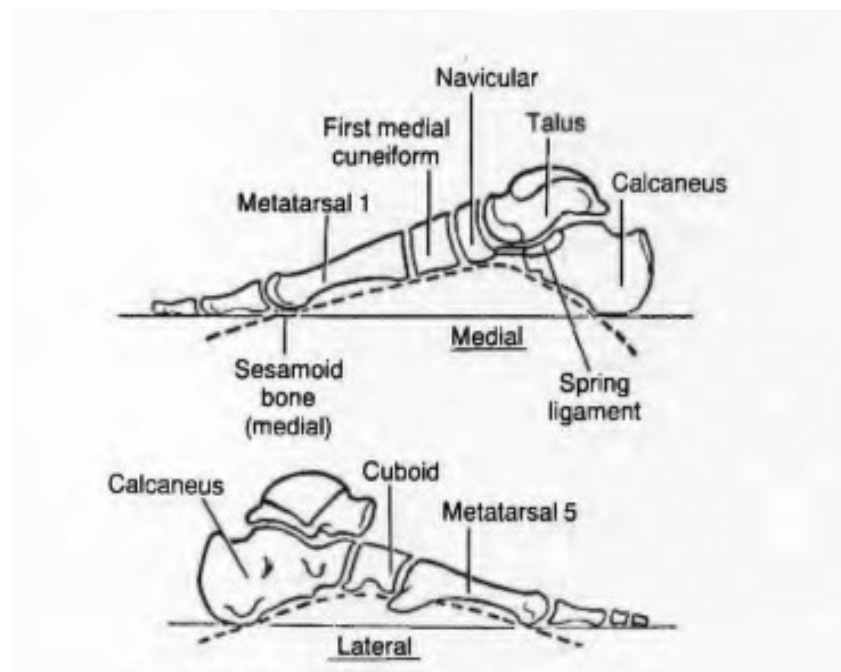
Struktur yang bersegmen hanya dapat menyokong berat badan bila dibangun dalam bentuk lengkung. Ada tiga lengkung kaki yang telah ada sejak lahir: *Arcus Longitudinalis Medialis*, *Arcus Longitudinalis Lateralis*, dan *Arcus Tranversus*. Pada anak-anak kecil, kaki tampak datar karena banyaknya lemak subkutan pada telapak kaki.<sup>10</sup>

*Arcus Longitudinalis Lateralis* ini rendah, dibentuk oleh *calcaneus*, *cuboideum*, dan *ossa metatarsalia* keempat dan kelima. Selama berjalan perbatasan lateral kaki berfungsi menerima dan menanggung berat tubuh sebelum *arcus longitudinalis medialis* ikut berperan. *Arcus* ini berposisi atau merata di permukaan engsel antara IV berbentuk kubus dan metatarsal V.<sup>10</sup>

*Arcus Longitudinalis Medialis* dibentuk oleh *calcaneus*, *talus*, *os naviculare*, ketiga *os cuneiforme*, ketiga *os metatarsalia* pertama dan "ligamentum pegas". *Arcus* ini berbentuk lengkungan yang tinggi. Pada puncaknya terletak *caput tali* yang bersandar pada ligamentum pegas diantara *sustentaculum tali* dan *navicular*. Dengan melakukan gerakan supinasi pada kaki, *tibialis posterior* mengangkat *arcus*. *Arcus* ini berfungsi untuk membagi distribusi berat tubuh menuju ke *tuber calcanei* dan kelima *caput ossa metatarsale*. Pada permukaan engsel antara *talus* dan *navicular* dan juga antara tulang

tarsal lainnya, ligamentum pegas ( atau *arcus pedis* ) dapat menjadi rata dan mundur.<sup>11</sup>

*Arcus Tranversus* dibentuk oleh *basis ossis metatarsi* dan *os cuboideum* serta ketiga *os cuneiforme*. *Arcus* ini tidak dianggap ada karena setengah *arcus* dari *cuboideum* dan *cuneiforme* tidak dapat bertindak sebagai sebuah *arcus* karena ia tidak memiliki pilar medial.<sup>10</sup>



**Gambar 2.** *Arcus longitudinalis* medial dan lateral<sup>11</sup>

Pada pemeriksaan jejak kaki basah seseorang yang sedang berdiri pada lantai, akan terlihat bahwa tumit, *margo lateralis*, bantalan bagian bawah *caput metatarsal*, dan bantalan *phalanges* distal berkontak dengan tanah. Pinggir medial kaki, dari tumit sampai *caput metatarsal* pertama melengkung di atas tanah, karena adanya *arcus longitudinalis medialis* yang penting. Tekanan di atas

tanah oleh *margo lateralis* terletak paling besar pada tumit dan *caput metatarsal* kelima dan paling kecil di antara kedua daerah ini, karena adanya *arcus longitudinalis lateralis* yang letaknya rendah. *Arcus transversus* dibentuk basis kelima *os metatarsi*, *cuboideum*, dan *cuneiforme*. Bagian ini sebenarnya hanya setengah lengkung, dengan basisnya pada lateral kaki dan puncaknya pada medial kaki. Kaki dapat dianggap sebagai setengah kubah, sehingga jika kedua margo medialis kaki di letakkan bersama, terbentuklah kubah yang lengkap.<sup>10</sup>

Dari keterangan ini dapat dimengerti bahwa berat badan pada posisi berdiri didistribusikan menuju tumit dan kaki depan pada enam titik tumpuan di tanah, yaitu tuber calcanei, kedua *ossa sesamoidea* di bawah *caput os metatarsal* pertama dan ke-empat *caput metatarsal* lainnya.

### 2.1.3 Penyokong *Arcus Pedis*

Jones memperkirakan bahwa *ligamentum plantaris* dan *aponeurosis plantaris* menanggung tekanan terbesar. Fungsi utama otot adalah untuk mempertahankan konsistensi relatif dalam rasio distribusi berat antara kepala *metatarsal*.<sup>10</sup>

Ketinggian *arcus* bervariasi sesuai postur tubuh masing-masing individu. Bayi tidak memiliki *arcus* sama sekali, *arcus* mereka berkembang seiring dengan penambahan usia. Setiap kegagalan pembentukan *arcus* berkaitan dengan jenis dan durasi

stres yang dikenakan pada pedis; misalnya, atlet dan pelari yang bergantung pada *arcus* mereka untuk menghadapi tekanan besar yang sekejap dan berulang akan menyebabkan inflamasi pada tulang, sendi dan tendon, sedangkan mereka yang berdiri diam sering menimbulkan keluhan pada *arcus*-nya. Keadaan ini diakibatkan oleh berat tubuh yang membebani tulang-tulang dan ligamen-ligamen pada kaki secara berlebihan dan akan menyebabkan turunnya *arcus pedis* atau kaki datar.<sup>10</sup>

Studi elektromiografi menunjukkan bahwa *m. tibialis anterior*, *m. peroneus longus*, dan otot-otot intrinsik kaki tidak mempunyai peran penting dalam menyokong *arcus* pada keadaan statis. Umumnya otot-otot ini tidak aktif sama sekali. Bahkan dengan penambahan bobot normal besar untuk *arcus* statis, otot-otot tetap relatif tidak aktif. Selama bergerak otot-otot ini menjadi aktif, otot-otot intrinsik kaki kemudian menjadi sangat aktif sebagai kesatuan pada saat mengangkat jari-jari kaki (hal ini membutuhkan penguatan otot pada tekanan yang lebih besar).<sup>10,11</sup>

#### **2.1.4 Fungsi Pegas pada *Pedis***

Ketika kaki dalam posisi berjinjit, *calcaneus* berada dalam posisi vertikal, tegak lurus dengan *caput metatarsal* yang horizontal. *Metatarsal* tetap berada sejajar dengan lantai, karena memiliki fungsi untuk menopang berat tubuh. Hubungan posisi *metatarsal* dengan *calcaneus* menjadikan bentuk dari *Arcus Longitudinalis Medialis*

terkontrol oleh *aponeurosis plantar*. Hicks menemukan bahwa *aponeurosis plantar* menyerap sekitar 60% dari tekanan akibat distribusi berat tubuh. Ketika jari kaki memanjang selama fase *push-off* dari berjalan. Peningkatan tekanan dari *plantar aponeurosis* mengangkat *Arcus Longitudinalis Medialis* dengan cara supinasi dari *pedis*. Mekanisme ini dikenal sebagai *windlass effect*. Pronasi yang terjadi secara langsung pada penumpuan berat badan sedikit mendatarkan *Arcus Longitudinalis Medialis* bertujuan untuk menyerap tekanan akibat berat tubuh dan dapat memberikan bantuan tolakan kaki terhadap tanah pada saat berlari, hal ini menunjukkan fungsi *pedis* sebagai pegas.<sup>12</sup>



**Gambar 3.** *Windlass Effect*. Menegangkan plantar aponeurosis pada fase *push-off* yang meningkatkan *Arcus Longitudinalis Medialis*. Peningkatan ini menstabilkan kaki selama pergerakan ketika berat tubuh distribusikan ke caput metatarsal.<sup>12</sup>

Pegas yang ditekan atau diregangkan kemudian dilepas, akan kembali ke panjang asalnya, jika perpindahannya tidak terlalu besar. Ada suatu batas untuk perpindahan itu, diatas nilai itu pegas tidak kembali kepanjang semula tetapi tinggal secara permanen dalam keadaan yang telah berubah, jika hanya diperbolehkan perpindahan dibawah batas ini, dapat mengkalibrasi peregangannya atau penekanan melalui gaya yang diperlukan untuk menghasilkan peregangannya atau penekanan itu. Secara eksperimen ditemukan bahwa, untuk  $\Delta x$  yang kecil, gaya yang dikerjakan oleh pegas mendekati sebanding dengan  $\Delta x$  dan dalam arah berlawanan. Hubungan ini, dikenal sebagai Hukum Hooke yang dapat ditulis

$$F_x = -k(x - x_0) = -k\Delta x$$

dengan konstanta  $k$  disebut konstanta gaya pegas. Jarak  $x$  adalah koordinat ujung pegas atau benda yang diikatkan pada ujung pegas tersebut. Konstanta adalah nilai koordinat jika pegas tidak diregangkan dari posisi kesetimbangannya. Gaya semacam itu dinamakan gaya pemulih karena gaya ini cenderung memulihkan pegas ke konfigurasi awalnya.<sup>13</sup>

## 2.2 Mekanisme Penyangga *Arcus*

Penelitian rancangan jembatan batu dapat menjelaskan metode bangunan yang digunakan sebagai penyangga.

1. Bentuk batu. Cara paling efektif untuk menyanggah *arcus* adalah membuat batu yang berbentuk baji, dengan ujung baji yang tipis terletak

dibawah. Hal ini terutama untuk batu yang terletak di pusat arcus dan disebut sebagai “*keystone*”.

2. Pinggir bawah batu diikat menjadi satu. Hal ini dilakukan dengan saling mengunci atau mengikat bagian bawah batu-batu dengan staples logam. Cara ini dengan efektif mengatasi kecenderungan dari pinggir-pinggir bawah batu memisahkan diri pada waktu *arcus* menerima beban berat badan.
3. Penggunaan tali pengikat khusus (*tie beam*). Jika jarak kedua kaki jembatan cukup lebar dan dasar kedua kakinya tidak kuat, sebuah tali khusus yang menghubungkan kedua ujung akan dengan efektif mencegah pemisahan kaki (pilar) lebih jauh pada waktu penurunan arcus tersebut.
4. Jembatan gantung. Di sini, keutuhan lengkung bergantung dari berbagai penyanggah yang menggantungkan arcus dari sebuah kawat di atas jembatan.

Seseorang dapat mempelajari metode-metode yang digunakan dalam menyokong *arcus pedis*, dengan menggunakan jembatan sebagai analogi tersebut.<sup>10</sup>

### 2.2.1 Mempertahankan *Arcus Longitudinalis Medialis*

1. Bentuk tulang-tulang. *Sustentaculum tali* mempertahankan *talus*; permukaan proksimal *os naviculare* yang cekung bersendi dengan *caput tali* yang bulat; permukaan proksimal *os cuneiforme mediale* yang sedikit cekung bersendi dengan *os naviculare*. *Caput tali* yang bulat merupakan “*keystone*” pada pusat *arcus*.

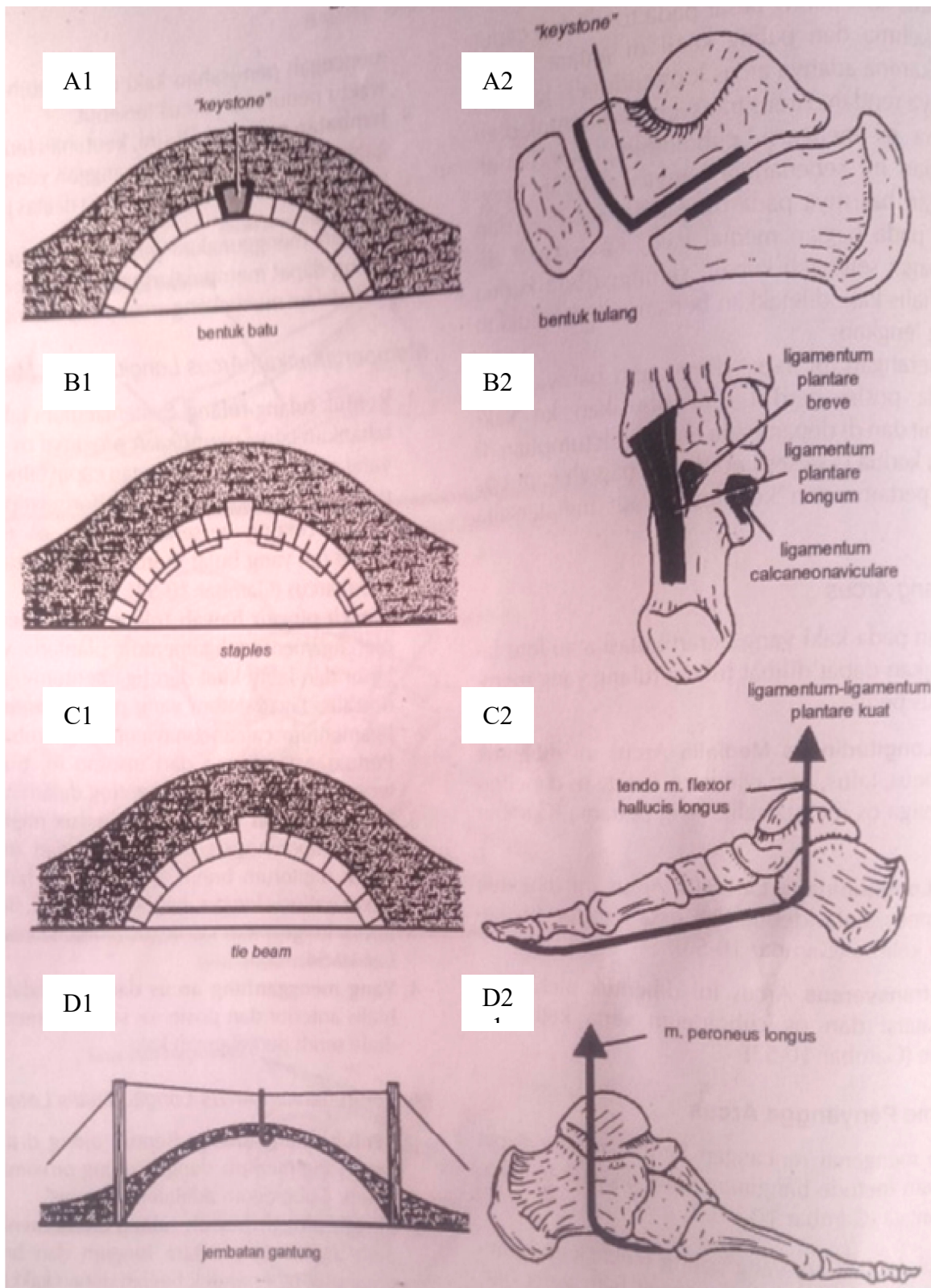
2. Pinggir-pinggir bawah tulang diikat menjadi satu oleh ligamen-ligamen *plantaris*, yang lebih besar dan lebih kuat dari ligamen-ligamen dorsalis. Ligamen yang paling penting adalah *ligamentum calcaneonaviculare*.
3. Yang mengikat kedua ujung arcus menjadi satu adalah *aponeurosis plantaris*, bagian medial *m. flexor digitorum brevis*, *m. abductor hallucis*, *m. flexor hallucis longus*, bagian medial *m. flexor digitorum longus*, dan *m. flexor hallucis brevis*.
4. Yang menggantung *arcus* dari atas adalah *m. tibialis anterior* dan posterior serta *ligamentum mediale* sendi pergelangan kaki.<sup>10</sup>

### 2.2.2 Mempertahankan *Arcus Longitudinalis Lateralis*

1. Bentuk tulang-tulang. Bentuk ujung distal *calcaneus* yang menipis dengan ujung proksimal *cuboideum*. *Cuboideum* adalah “keystone”.
2. Pinggir-pinggir bawah tulang diikat menjadi satu oleh *ligamentum plantare longum* dan *breve* dan origo otot-otot pendek bagian depan kaki.
3. Yang mengikat kedua ujung arcus menjadi satu oleh *aponeurosis plantaris*, *m. abductor digiti minimi*, dan bagian lateral *m. flexor digitorum longus* dan *brevis*.
4. Yang menggantung arcus dari atas adalah *m. peroneus longus* dan *brevis*.<sup>10</sup>

### 2.2.3 Mempertahankan *arcus transversus*

1. Bentuk tulang-tulang. *Os cuneiforme* yang berbentuk baji dan basis *ossis metatarsalia*.
2. Pinggir-pinggir bawah tulang diikat menjadi satu oleh *ligamentum transversum profunda*, *ligamentum-ligamentum plantare* yang kuat, dan origo otot-otot plantar bagian depan kaki; *mm. interossei dorsales* dan *caput transversum*, *m. adductor hallucis* ternyata penting dalam hal ini.
3. Yang mengikat kedua ujung *arcus* menjadi satu adalah tendo *m. peroneus longus*.
4. Yang menggantung *arcus* dari atas adalah tendo *m. peroneus longus* dan *brevis*.<sup>10</sup>



Gambar 4. Berbagai metode penyanggaan arcus pedis.<sup>10</sup>

Keterangan Gambar 4:

A1= metode jembatan batu “ <i>keystone</i> ”	A2= <i>os talus</i> sebagai keystone
B1= metode jembatan batu “ <i>staples</i> ”	B2= ligamen-ligamen <i>plantaris</i> mengikat <i>ossa tarsalia</i> menjadi satu
C1= metode jembatan batu “ <i>tie beam</i> ”	C2= tendo <i>m. flexor hallucis longus</i> mengangkat dan mempertahankan <i>arcus longitudinalis medialis</i>
D1= metode jembatan gantung	D2= tendo <i>m. peroneus longus</i> mengangkat dan mempertahankan <i>arcus longitudinalis lateralis</i>

Lengkung-lengkung kaki dipertahankan oleh bentuk tulang, ligamentum-ligamentum kuat, dan tonus otot. Basmajian dan Stecko memperlihatkan secara elektromiografi bahwa *m. tibialis anterior*, *m. peroneus longus*, dan otot-otot kecil kaki tidak berperan penting.<sup>10,11</sup>

## 2.2.4 Menilai *Arcus Pedis* Dengan Metode *Staheli*

### 2.2.4.1 Cara Mendapatkan Cap Jejak Kaki

Untuk memperoleh cap jejak kaki, peneliti memilih instrumen *pedigraphy* yang biasanya digunakan. Wadah plastik yang telah diisi dengan tinta diletakkan disebelah kaki probandus. Selembar kertas ditempatkan berdekatan dengan wadah yang berisi tinta.. Probandus tetap duduk di depan alat dan bahan yang sudah disiapkan tersebut. Dengan bantuan peneliti, probandus menempatkan kaki untuk di cetak wadah

yang berisi tinta. Peneliti meminta probandus untuk berdiri dan melakukan fleksi kecil lutut ipsilateral (sekitar  $30^\circ$ ), dengan bantuan peneliti dan kemudian dikembalikan ke posisi awal, lalu angkat kaki. Peneliti harus mengontrol posisi kaki pada wadah plastik sehingga mencegah kaki tergelincir, fakta yang akan mengacaukan tes, yang harus menunjukkan jejak yang jelas.<sup>14</sup>



**Gambar 5.** Wadah plastik yang diisi dengan tinta stempel untuk mendapatkan gambaran jejak kaki.<sup>14</sup>

#### 2.2.4.2. Cara Menilai Arcus Pedis

Indeks *arcus plantaris* menjelaskan hubungan antara regio sentral dan posterior jejak kaki, dan dihitung dengan cara sebagai berikut: Sebuah garis di singgungkan pada dua sisi medial hasil cap kaki yang paling menonjol yaitu tepi kaki

depan sisi medial dan pada regio tumit. Titik tengah dari garis ini kemudian ditentukan. Dari titik ini, sebuah garis sejajar digambar menyilangi jejak kaki. Prosedur yang sama diulang untuk titik yang bersinggungan dengan tumit. Dengan demikian, sebuah pengukuran terhadap lebar area *support* regio sentral terhadap kaki (A) dan terhadap tumit (B) dalam milimeter. Indeks *arcus plantaris* dihitung dengan membagi nilai A dengan B ( $PI = A/B$ ).<sup>14</sup>



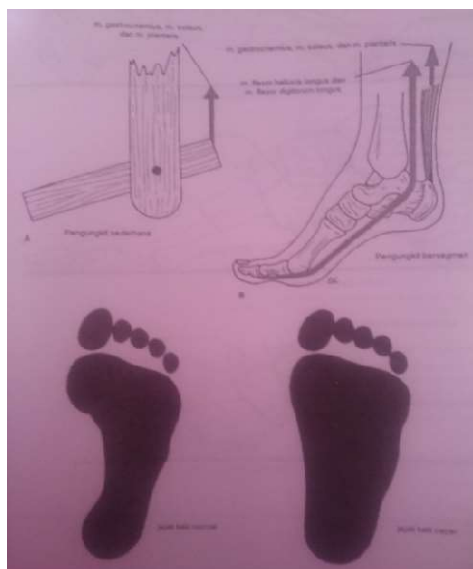
**GAMBAR 6.** Garis regio sentral (A) dan garis regio tumit (B) dalam satuan milimeter. Indeks *arcus plantaris* dihitung dengan membagi nilai garis A dengan nilai garis B ( $A/B$ ).<sup>14</sup>

## 2.3 KAKI SEBAGAI UNIT FUNGSIONAL

### 2.3.1 Kaki Sebagai Penyokong Berat Badan dan Pengungkit

Kaki mempunyai dua fungsi utama yaitu: (1) menyokong berat badan dan (2) berfungsi sebagai pengungkit untuk

memajukan tubuh sewaktu berjalan dan berlari. Karena mempunyai suatu tulang yang kuat dan bukan beberapa tulang yang kecil, kaki dapat menyokong berat badan dan berfungsi sebagai pengungkit yang kaku untuk gerakan ke depan. Namun, dengan susunan seperti itu kaki tidak dapat menyesuaikan diri terhadap permukaan yang tidak rata, dan gerak maju seluruhnya akan bergantung pada aktivitas *m. gastrocnemius* dan *m. soleus*. Karena pengungkit ini terdiri atas segmen-segmen banyak sendi, kaki bersifat fleksibel dan dapat menyesuaikan diri terhadap permukaan yang tidak rata. Lagipula, otot-otot fleksor panjang dan otot-otot kecil kaki dapat menggunakan fungsinya pada tulang-tulang kaki bagian depan dan jari-jari (sebagai landasan maju kaki) dan sangat membantu gerakan maju ke depan *m. gastrocnemius* dan *m. soleus*.

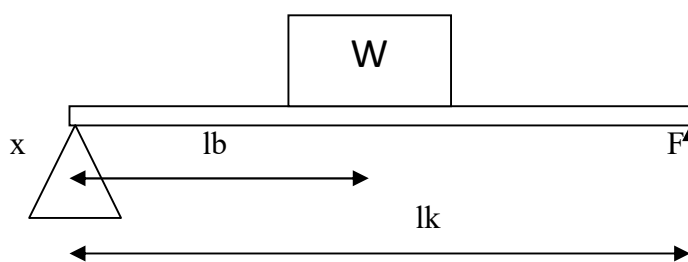


**Gambar 7.** Kaki sebagai pengungkit sederhana dan diperlihatkan juga jejak kaki normal dan kaki datar.<sup>10</sup>

Tubuh dalam keadaan statis/stasioner berarti objek/tubuh dalam keadaan setimbang berarti pula jumlah gaya dalam segala arah sama dengan nol, dan jumlah momen gaya terhadap sumbu juga sama dengan nol. Sistem otot dan tulang dari tubuh manusia bekerja sebagai pengumpil.<sup>10</sup>

#### A. Pengungkit tipe II.

Memiliki lengan gaya yang lebih panjang daripada lengan beban oleh karena titik beban selalu berada diantara tuas dan titik penerapan gaya.



**Gambar 8.** Ilustrasi pengungkit tipe II.

Beban (W) = Berat badan yang ditangkap *articulatio talocruralis*

Lengan beban (lb) = Jarak *capitulum ossis metatarsae – articulatio talocruralis*

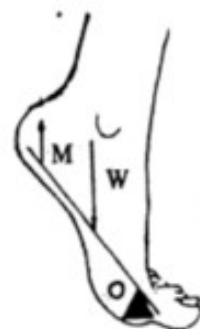
Gaya (F) = *m. Triceps surae*

Lengan gaya (lk) = Jarak *capitulum ossis metatarsae - tuber calcanei*

Fulcrum (x) = *Capitulum ossis metatarsae*

*Fulcrum* berada di salah satu ujung, kekuatan di ujung berlawanan, dan beban diantara keduanya, seperti pada kereta beroda satu. Jenis pengungkit ini terjadi pada saat kaki

berjinjit. Otot betis posterior memberikan kekuatan, tulang tungkai menjadi beban, dan persendian pada pergelangan kaki menjadi *fulcrum*.



**Gambar 9.** Kaki sebagai pengungkit sederhana tipe II.<sup>15</sup>

Gaya (M) = *m. Triceps surae*

Beban (W) = Berat badan yang ditangkap *articulatio talocruralis*

Fulcrum (o) = *Capitulum ossis metatarsae*

Teori pesawat sederhana membuktikan melalui prinsip kerja pengungkit yang meliputi hasil kali penerapan gaya dengan lengan gaya sama dengan hasil kali penerapan beban dengan lengan beban sebagai berikut:

$$F \cdot lk = W \cdot lb$$

Titik F merupakan gaya yang ditimbulkan oleh karena kontraksi *m. Triceps surae*. Lengan gaya disimbolkan dengan lk yang merupakan jarak antara fulcrum dengan gaya atau pada kasus ini adalah jarak *capitulum ossis metatarsae* sampai *tuber calcanei*. Titik W merupakan beban yang merupakan berat

tubuh individual. Lengan beban disimbolkan dengan  $lb$  yang merupakan jarak antara fulcrum dengan beban atau pada kasus ini adalah jarak *capitulum ossis metatarsae – articulatio talocruralis*.

Menurut teori pesawat sederhana, keuntungan kecepatan akan diperoleh jika lengan gaya lebih pendek dari lengan beban.<sup>15</sup>

### 2.3.2 Fungsi Gerak Maju Kaki

Berdiri diam berat badan di distribusikan melalui tumit di belakang dan *caput ossis metatarsi* di depan (termasuk *kedua os sesamoideum* di bawah *caput ossis metatarsi* pertama).

Berjalan sewaktu berat badan berpindah ke depan, berat itu berturut-turut disokong oleh pinggir lateral kaki dan *caput ossis metatarsi*. Sewaktu tumit terangkat, jari-jari ekstensi pada *articulationes metatarsophalangea*, dan *aponeurosis plantaris* tertarik sehingga memendekkan tali penahan (*tie beam*) dan meninggikan *arcus longitudinalis*. Tendo otot-otot fleksor panjang yang kendur dikencangkan, sehingga meningkatkan efisiensinya. Badan kemudian terdorong ke depan oleh (1) kerja *m. gastrocnemius* dan *m. soleus* pada persendian pergelangan kaki, menggunakan kaki sebagai pengungkit, dan (2) jari-jari kaki mengalami fleksi kuat oleh otot-otot fleksor panjang dan pendek kaki, mengakibatkan akhir dari dorongan ke depan. *Mm.*

*Lumbricales* dan *mm. Interossei* berkontraksi dan menjaga jari-jari kaki tetap dalam keadaan ekstensio sehingga tidak tertekuk ke bawah karena kuatnya tarikan *m. flexor digitorum longus*. Dalam gerakan ini tendo-tendo fleksor panjang juga membantu *plantar* fleksi sendi pergelangan kaki.

Bila seseorang berlari berat badan menumpu pada bagian depan kaki, dan tumit tidak menyentuh tanah. Lemparan ke depan tubuh di sebabkan oleh mekanisme (1) dan (2) seperti pada berjalan.<sup>8,10</sup>

### 2.3.3 BIOMEKANIKA BERLARI (Teori *Gait Cycle*)

Batasan antara berjalan dan berlari terjadi ketika periode *double support* saat *stance phase* dari *gait cycle* menghilang menjadi dua periode *double float* pada awal dan akhir dari *swing phase* dari *gait cycle*. Pada umumnya, seiring dengan kecepatan yang makin bertambah kontak awal kaki berubah dari *hindfoot* menjadi *forefoot*. Hal ini secara khusus membedakan antara berlari dan berlari *sprint*. Pada prakteknya, perbedaan antara berlari dan berlari *sprint* terdapat di tujuan yang akan dicapai. Berlari dilakukan pada jarak yang lebih jauh untuk ketahanan dan untuk melatih metabolisme aerob. *Jogging*, *road-racing* dan *marathon* adalah contoh dari berlari. Sekitar 80% dari pelari jarak jauh adalah *rearfoot striker*. Sebagian besar sisanya dicirikan sebagai *midfoot striker*. Kegiatan berlari dilakukan melalui jarak pendek dan pada

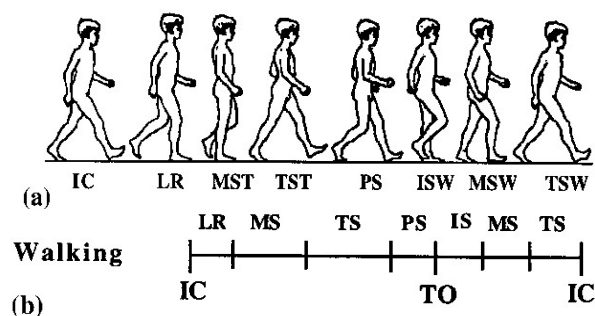
kecepatan yang lebih cepat, dengan tujuan menutupi jarak yang relatif pendek di periode waktu sesingkat mungkin tanpa memperhatikan mempertahankan metabolisme aerobik. Pelari elit melakukan dengan kaki kontak awal *forefoot*, dan pada kenyataannya, *hindfoot* mungkin tidak pernah menyentuh tanah. Untuk berlari, secepat mungkin tubuh dan segmen digerakkan di seluruh balapan. Di sisi lain untuk gerakan berjalan, tubuh akan digerakkan pada tingkat lebih terkontrol dalam kaitannya dengan energi yang dibutuhkan saat lomba.

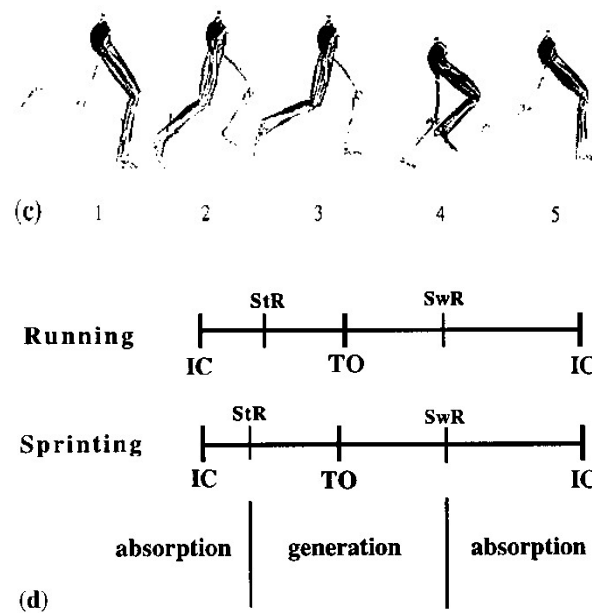
*Gait cycle* merupakan unit dasar pengukuran dalam analisis *Gait*. *Gait cycle* dimulai ketika satu kaki menyentuh tanah dan berakhir ketika kaki yang sama menyentuh tanah lagi. Pada keadaan ini disebut dengan *innitial contact*. *Stance phase* berakhir ketika kaki tidak lagi bersentuhan dengan tanah. *Toe off* menandai awal dari *swing phase* dari *gait cycle*. Setiap fase berjalan dan berlari dibagi lebih lanjut seperti yang terlihat pada Gambar 13. Karena *stance phase* dalam berjalan lebih lama 50% dari *gait cycle*, ada dua periode dukungan ganda ketika kedua kaki berada di tanah, pada saat dimulai dan pada akhir *stance phase*.

Saat berjalan, *toe off* terjadi sebelum 50% dari *gait cycle* selesai. Tidak ada periode ketika kedua kaki berada dalam keadaan kontak dengan tanah. Sebaliknya, kedua kaki berada di udara dua kali selama *gait cycle*, pada saatdimulai dan pada akhir ayunan

disebut sebagai *double float*. Waktu *toe off* tergantung pada kecepatan. Pelari *sprint* dan pelari elit menghabiskan waktu lebih sedikit dalam sikap itu. Pelari kelas dunia melakukan *toe off* kurang dari 22% *Gait cycle*.

Terlepas dari kecepatan, periode alternatif dari percepatan dan perlambatan terjadi selama berjalan disebut sebagai *absorption* dan *generation*. Seperti yang dapat dilihat, fase ini tidak bertepatan dengan waktu *innitial contact* dan *toe off*. Selama periode *absorption*, pusat tubuh massa jatuh dari ketinggian puncaknya selama *double float*. Periode ini dibagi dengan *innitial contact* (IC) menjadi *swing phase absorption* dan *stance phase absorption*. Kecepatan dari pusat massa berkurang secara horizontal selama periode ini. Setelah *stance phase reversal*, pusat massa didorong ke atas dan ke depan selama *stance phase generation*. Energi kinetik dan potensial meningkat. Tungkai kemudian didorong ke *swing phase* setelah *toe off*. Pada *swing phase reversal*, periode *absorption* berikutnya dimulai.<sup>5,7,8,16</sup>





**Gambar 10.** Siklus Melangkah (*gait cycle*). (a) gerakan dasar saat berjalan (b) siklus melangkah saat berjalan : \*IC, *Initial Contact*; LR, *Loading Response*; \*TO, *Toe off*; MS, *Mid Stance*; TS, *Terminal Stance*; PS, *Pre Swing*; IS, *Initial Swing*; MS, *Mid Swing*; TS, *Terminal Swing*. (c) Gerakan dasar saat berlari : 1) *Stance Phase Absorption*, 2) *Stance Phase Generation*, 3) *Swing Phase Generation*, 4) *Swing Phase Reversal*, dan 5) *Swing Phase Absorption* (d) siklus melangkah saat berlari : \*untuk berlari dan *sprint* ; IC, *Initial Contact*; TO, *Toe off*; StR, *Stance phase Reversal*; SwR, *Swing Phase Reversal*; Absorption, dari SwR melalui IC menuju StR; *Generation*, dari StR melalui TO menuju SwR.<sup>5,16</sup>

## 2.4 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI VARIABEL

### 2.4.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Bentuk *Arcus Pedis*

#### A. *Pes Cavus*

*Pes cavus* adalah keadaan dimana ketinggian *arcus pedis* melebihi batas. Kebanyakan kasus terjadi akibat

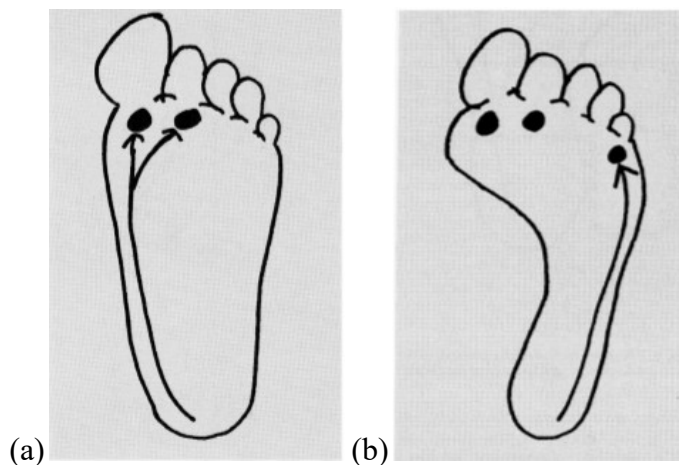
penyakit gangguan persarafan (penyakit *Charcot-Marie-Tooth*, *diastematomyelia*, *poliomyelitis*). *Pes Cavus* dibagi sesuai lokasi anatomis kejadian deformitas, *pes cavus* bisa mengenai kaki bagian belakang (*hindfoot*), kaki tengah (*midfoot*) atau kaki depan (*forefoot*). Jika keadaan *cavus* terjadi pada ketiga bagian kaki tersebut, maka kelainan 'global' *cavus*.

Pada penyakit *Charcot-Marie-Tooth*, *m. peroneus longus* yang terlalu aktif akan menyebabkan fleksi hiperplantar dari *metatarsal* pertama. Untuk menjaga agar kaki tetap bersinggungan dengan tanah, individu yang mengalami penyakit tersebut secara sekunder membentuk *varus* kaki belakang sebagai kompensasi fleksi hiperplantar. Bila diabaikan, *hindfoot varus*, yang pada awalnya fleksibel, akan menjadi terfiksir. Pengujian menggunakan metode *Coleman Block* dilakukan dengan cara berdiri dengan sisi lateral telapak kaki pada sebuah kotak kayu. Pengujian ini secara efektif menyeimbangkan supinasi telapak kaki dan deformitas bagian belakang kaki secara langsung diperbaiki bila *varus* pada kaki belakang masih fleksibel. Bila kaki belakang masih fleksibel, operasi hanya bertujuan untuk menangani supinasi dari telapak kaki. Namun, bila kaki

belakang sudah terfiksir, bagaimanapun, deformitas pada kaki belakang juga harus ditangani secara operatif.<sup>8</sup>

B. *Pes Planus*

Kaki datar (lengkung kaki yang jatuh) didapati pada keadaan disfungsi sekunder dari tibialis posterior karena trauma, degenerasi dengan usia, atau denervasi. Dengan tidak adanya sokongan yang normal pasif atau dinamis, *ligamentum calcaneonavicular* gagal untuk menyokong kepala talus. Akibatnya, kepala *talus* bergeser kearah inferomedial dan membentuk tonjolan. Akibatnya, *arcus longitudinalis medialis* mengalami pendataran, bersama dengan deviasi kaki lateral depan. Kaki datar pada umumnya terjadi pada orang tua, terutama jika mereka berdiri dengan posisi yang tidak terbiasa atau karena penambahan berat badan yang cepat, menambahkan tekanan pada otot dan meningkatkan ketegangan pada ligamen yang menyokong *arcus pedis*.<sup>12</sup>



**Gambar 11.** (a) alur distribusi berat tubuh pada *pes planus*. (b) alur distribusi berat tubuh pada *pes cavus*.<sup>12</sup>

#### 2.4.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kecepatan Berlari

Faktor yang mempengaruhi kecepatan lari dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu, faktor internal dan faktor eksternal. Berikut uraian dari faktor-faktor tersebut:

##### 1. Faktor Internal

###### a) Genetik

Genetik manusia, unit yang kecil yang tersusun atas sekuen *Deoxyribonucleic Acid* (DNA) adalah bahan paling mendasar dalam menentukan hereditas. Keunggulan genetik yang bersifat pembawaan atau genetik tertentu diperlukan untuk berhasil dalam cabang olahraga tertentu. Beberapa komponen dasar seperti proporsi tubuh, karakter, psikologis, otot merah, otot putih dan suku, sering menjadi pertimbangan untuk pemilihan atlet. Tubuh seseorang secara genetik rata-

rata tersusun oleh 50% serabut otot tipe lambat dan 50% serabut otot tipe cepat pada otot yang digunakan untuk bergerak.<sup>17</sup>

b) Umur

Massa otot semakin besar seiring dengan bertambahnya umur seseorang. Pembesaran otot ini erat sekali kaitannya dengan kekuatan otot, dimana kekuatan otot merupakan komponen penting dalam peningkatan kecepatan lari. Kekuatan otot akan meningkat sesuai dengan penambahan umur. Selain ditentukan oleh pertumbuhan fisik, kekuatan otot ini ditentukan oleh aktivitas ototnya. Kekuatan otot akan terus meningkat sesuai dengan penambahan umur hingga mencapai puncaknya pada umur 20-30 tahun, setelah itu kekuatan otot akan menurun mencapai 20% pada umur 65 tahun. Pelatihan olahraga atletik termasuk lari cepat 100 meter mulai dilatih dari umur 10-12 tahun, dan pelatihan spesialisasi pada umur 13-24 tahun, sehingga puncak prestasinya pada umur 18-23 tahun.

c) Indeks Massa Tubuh

Indeks Massa Tubuh adalah nilai yang diambil dari perhitungan antara berat badan dan tinggi badan seseorang. Rumus menghitung IMT adalah,  $IMT = \text{Berat Badan (kg)} / [\text{Tinggi Badan (m)}]^2$ . IMT normal sebesar 18,5-22,9 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabel 3.** Indeks Massa Tubuh.<sup>3</sup>

IMT	Kategori
< 18,5	Berat badan kurang
18,5 – 22,9	Berat badan normal
23,0 – 24,9	<i>Overweight</i>
25,0 – 29,9	Obes I
≥ 30,0	Obes II

Hasil penelitian menunjukkan bahwa derajat kegemukan memiliki pengaruh yang besar terhadap performa empat komponen fitness dan tes-tes kemampuan atletik. Kegemukan tubuh berhubungan dengan keburukan performa atlet pada tes-tes *speed* (kecepatan), *endurance* (daya tahan), *balance* (kesimbangan) *agility* (kelincahan) serta *power* (daya ledak).

d) Jenis kelamin

Kekuatan otot laki-laki sedikit lebih kuat daripada kekuatan otot perempuan pada usia 10-12 tahun. Perbedaan kekuatan yang signifikan terjadi seiring pertambahan umur, di mana kekuatan otot laki-laki jauh lebih kuat daripada wanita. Pengaruh hormon *testosteron* memacu pertumbuhan tulang dan otot pada laki-laki, ditambah perbedaan pertumbuhan fisik dan aktivitas fisik wanita yang kurang juga menyebabkan kekuatan otot wanita tidak sebaik laki-laki.

Bahkan pada umur 18 tahun ke atas, kekuatan otot bagian atas tubuh pada laki-laki dua kali lipat daripada perempuan, sedangkan kekuatan otot tubuh bagian bawah berbeda sepertiganya.

#### e) Metabolisme Energi

Penampilan seorang atlet sangat tergantung dari penampilan mengeksploitasi energi yang dihasilkan melalui proses metabolisme energi. Nomor lari cepat dibawah 400 meter membutuhkan daya tahan yang singkat 4-2 menit dan sumber energi utamanya anaerobik, oleh sistem fospagen dan sistem laktat. Untuk lari 100 meter sistem energi anaerobik berkontribusi sebesar 80%, sisanya aerobik. Semakin tinggi intensitas semakin besar kontribusi sumber energi anaerobik.

## 2. Faktor Eksternal

### a) Suhu dan kelembaban relatif

Suhu sangat berpengaruh terhadap performa otot. Suhu yang terlalu panas menyebabkan seseorang akan mengalami dehidrasi saat latihan. Dan suhu yang terlalu dingin menyebabkan seorang atlet susah mempertahankan suhu tubuhnya, bahkan menyebabkan kram otot. Pada umumnya upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi orang Indonesia terhadap suhu tropis sekitar 290-300C dan kelembaban relatif antara 85%-95%.

b) Arah dan kecepatan angin

Arah dan kecepatan angin berpengaruh karena pelatihan berlangsung di lapangan terbuka. Arah angin diukur dengan bendera angin/kantong angin sedangkan kecepatannya dengan anemometer. Dalam penelitian ini, arah dan kecepatan angin berada dalam batas toleransi, diharapkan pengaruhnya dapat ditekan sekecil-kecilnya atau tempat pengambilan data berada pada kondisi yang sama atau satu tempat.

c) Ketinggian tempat

Tempat yang percepatan gravitasinya rendah akan lebih mudah mengangkat tubuh karena beratnya berkurang sebanding dengan penurunan percepatan gravitasi. Keuntungan ini dibayar dengan kerugian yang lebih besar yaitu setiap ketinggian 100 meter di atas permukaan laut akan terjadi penurunan tekanan udara sebesar 6-10 mmHg. Penurunan tekanan udara ini akan menurunkan kadar  $O_2$  (oksigen), sehingga bila atlet biasa berlatih di dekat permukaan laut kemudian bertanding di tempat tinggi dengan kadar  $O_2$  (oksigen) rendah, maka frekuensi pernafasannya akan lebih tinggi karena konsumsi  $O_2$  sama dengan saat berlatih sedangkan banyaknya  $O_2$  (oksigen) yang dihirup sekali nafas berkurang.

d) Asupan makanan

Asupan makanan juga berpengaruh pada kecepatan lari, ketersediaan nutrisi dalam tubuh akan mempengaruhi kinerja otot. Hasil penelitian Sumosarjono menyatakan bahwa para atlet lari sebaiknya makan makanan yang terakhir 3-4 jam sebelum lomba.<sup>3</sup>

e) Latihan

Latihan adalah gerakan tubuh yang terencana dan terstruktur dan dilakukan berulang-ulang untuk menyempurnakan atau mempertahankan komponen kebugaran. Menurut Moeloek latihan fisik adalah suatu kegiatan fisik menurut cara dan aturan tertentu yang mempunyai sasaran meningkatkan efisiensi faal tubuh dan sebagai hasil akhir adalah peningkatan kesegaran jasmani. Latihan yang teratur dapat mencegah kematian dini pada umumnya, kematian karena penyakit jantung, tekanan darah tinggi, kanker usus, derajat kolesterol tinggi. Latihan yang dilakukan lebih dari 30 menit akan memberikan efek ganda, disatu pihak akan meningkatkan aliran darah, dilain pihak akan membantu memecahkan metabolisme lemak dan kolesterol. Bila tujuan dari latihan hanya untuk membina atau meningkatkan kesegaran jasmani bukan untuk meningkatkan prestasi olahraga, maka frekuensi latihan cukup 3-5 kali seminggu.

Setiap berlatih waktu yang digunakan antara 15- 60 menit untuk latihan intinya.<sup>18</sup>

### **2.4.3 Faktor-Faktor Medis Yang Mempengaruhi Kecepatan Berlari**

#### **1. Penyakit kardiovaskular**

Menurut definisi kardiovaskuler dari WHO, penyakit kardiovaskuler adalah penyakit yang disebabkan gangguan fungsi jantung dan pembuluh darah.<sup>19</sup>

#### **2. Penyakit saluran napas**

Sistem pernapasan manusia yang terdiri atas beberapa organ dapat mengalami gangguan. Gangguan ini biasanya dapat berupa kelainan, penyakit, atau karena ulah dan perilaku manusia itu sendiri (seperti merokok). Penyakit atau gangguan yang menyerang sistem pernapasan ini dapat menyebabkan terganggunya proses pernapasan atau bahkan merusak saluran pernafasan.<sup>20</sup>

#### **3. Penyakit neurologis**

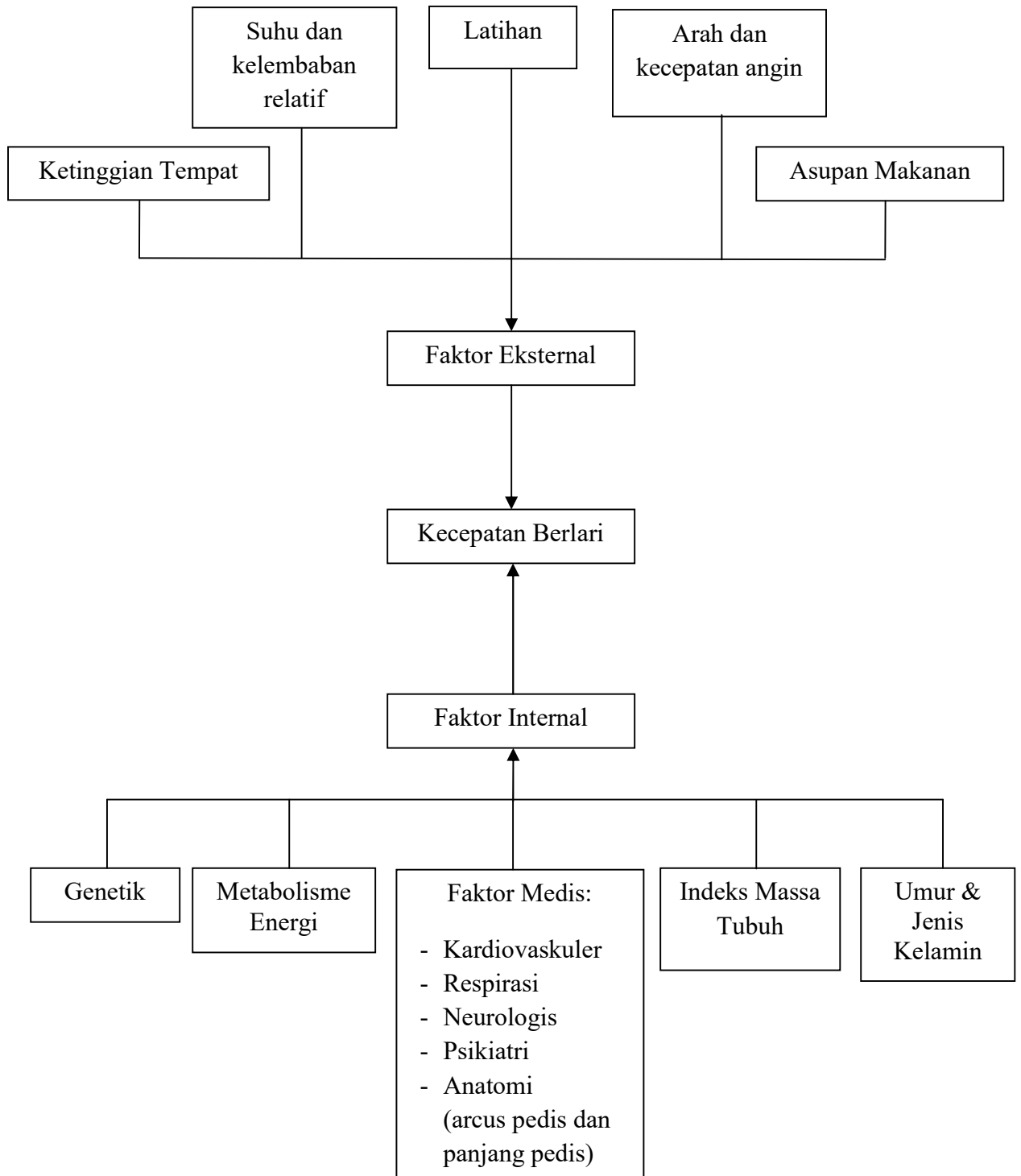
Kegagalan untuk memiliki fungsi neurologis yang seharusnya dimiliki, yang disebabkan oleh adanya lesi (defek) dari otak.<sup>21</sup>

#### **4. Gangguan psikiatri**

Gangguan jiwa merupakan gejala yang dimanifestasikan melalui perubahan karakteristik utama dari kerusakan fungsi perilaku atau psikologis yang secara umum diukur dari beberapa

konsep norma, dihubungkan dengan distres atau penyakit tidak hanya dari respon yang diharapkan pada kejadian tertentu atau keterbatasan hubungan antara individu dan lingkungan sekitarnya.<sup>22</sup>

## 2.5 KERANGKA TEORI



## 2.6 KERANGKA KONSEP



## 2.7 HIPOTESIS

### A. Hipotesis Mayor:

Terdapat hubungan antara struktur pedis dengan kecepatan lari.

### B. Hipotesis Minor

1. Semakin panjang *pedis* maka semakin meningkat kecepatan berlari.
2. Semakin tinggi indeks *arcus pedis* maka semakin menurun kecepatan berlari.