

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Anatomi dan Fisiologi Sistem Muskuloskeletal

##### 2.1.1. Sistem Otot (*Muscular System*)

###### 2.1.1.1. Otot (*Musculus*)

###### 2.1.1.1.1. Definisi

Otot adalah sebuah jaringan yang terbentuk dari sekumpulan sel-sel yang berfungsi sebagai alat gerak. Jaringan otot sekitar 40% dari berat tubuh. Otot melakukan semua gerakan tubuh. Otot mempunyai sel-sel yang tipis dan panjang yang mengubah energi yang tersimpan dalam lemak dan gula darah (glukosa) menjadi gerakan dan panas.<sup>9</sup>

###### 2.1.1.1.2. Mekanisme Kerja Otot

Timbul dan berakhirnya kontraksi otot terjadi dalam urutan tahap-tahap berikut:

1. Suatu potensial aksi berjalan di sepanjang sebuah saraf motorik sampai ke ujungnya pada serabut otot.
2. Di setiap ujung, saraf menyekresi substansi neurotransmitter, yaitu asetilkolin, dalam jumlah sedikit.
3. Asetilkolin bekerja pada area setempat pada membran serabut otot untuk membuka banyak kanal “bergerbang asetilkolin” melalui molekul-molekul protein yang terapung pada membran.

4. Terbukanya kanal bergerbang asetilkolin memungkinkan sejumlah besar ion natrium untuk berdifusi ke bagian dalam membran serabut otot. Peristiwa ini menimbulkan suatu potensial aksi pada membran.
5. Potensial aksi berjalan di sepanjang membran serabut otot dengan cara yang sama seperti potensial aksi berjalan di sepanjang membran serabut saraf.
6. Potensial aksi menimbulkan depolarisasi membran otot, dan banyak aliran listrik potensial aksi mengalir melalui pusat serabut otot. Di sini, potensial aksi menyebabkan retikulum sarkoplasma melepaskan sejumlah besar ion kalsium, yang telah tersimpan di dalam retikulum ini.
7. Ion-ion kalsium menimbulkan kekuatan menarik antara filamen aktin dan myosin, yang menyebabkan kedua filamen tersebut bergeser satu sama lain untuk menghasilkan proses kontraksi.
8. Setelah kurang dari 1 detik, ion kalsium dipompa kembali ke dalam retikulum sarkoplasma oleh pompa membrane  $\text{Ca}^{++}$ , dan ion-ion ini tetap disimpan dalam *reticulum* sampai potensial aksi otot yang baru datang lagi; pengeluaran ion kalsium dari *myofibril* menyebabkan kontraksi otot terhenti.<sup>10</sup>

#### **2.1.1.1.3. Otot Ekstremitas Bagian Bawah**

Otot ekstremitas bagian bawah atau otot anggota gerak bawah adalah salah satu golongan otot tubuh yang terletak pada anggota gerak bawah. Otot ini dibagi menjadi otot tungkai atas dan otot tungkai

bawah. Otot tungkai atas (otot pada paha) dan otot tungkai bawah (otot tulang kering, otot tulang betis, otot telapak kaki, otot jari kaki gabungan yang terletak di punggung kaki, dan otot penepsi terletak di sebelah punggung kaki).<sup>11</sup>

#### **2.1.1.2. Tendon**

Merupakan tali fibrosa jaringan ikat yang bersambungan dengan serabut otot dan melekatkan otot ke tulang atau tulang rawan.<sup>12</sup>

#### **2.1.1.3. Ligamen**

Pita jaringan ikat yang menghubungkan tulang atau tulang rawan, berfungsi untuk menyokong dan memperkuat sendi.<sup>12</sup>

### **2.1.2. Skeletal**

#### **2.1.2.1. Tulang/rangka**

Skeletal disebut juga sistem rangka yang tersusun atas tulang-tulang. Tubuh memiliki 206 tulang yang membentuk rangka. Fungsi sistem skeletal antara lain memproteksi organ-organ internal dari trauma mekanik, membentuk kerangka yang berfungsi untuk menyangga tubuh dan otot-otot yang melekat pada tulang, melindungi sumsum tulang merah yang merupakan salah satu jaringan pembentuk darah, dan tempat penyimpanan bagi mineral seperti kalsium dari dalam darah.<sup>13</sup>

#### **2.1.2.2. Sendi**

Tempat penyatuan atau sambungan antara dua bagian atau objek yang berbeda, dalam hal ini persambungan antara 2 buah tulang.<sup>13</sup>

## 2.2. Lari

### 2.2.1. Definisi

Lari adalah gerakan tubuh saat kedua kaki ada saat melayang di udara (kedua telapak kaki lepas dari tanah) yang mana lari diartikan berbeda dengan jalan yang selalu kontak dengan tanah.<sup>14</sup>

### 2.2.2. Mekanisme Berlari

Ada beberapa tahapan yang terjadi saat seseorang berlari. Tahapan ini secara umum dibagi menjadi 5 tahapan, meliputi:

1. Tahap reaksi dan dorongan
2. Transisi dan perubahan
3. Tahap percepatan
4. Tahap Kecepatan maksimum
5. Tahap pemeliharaan kecepatan<sup>15</sup>

Banyak otot yang terlibat saat gerakan berlari ini dilakukan. Ada otot-otot yang berperan sebagai penggerak utama dan otot-otot yang berperan sebagai pendukung gerakan. Otot-otot utama (primer) dan otot sekunder ini bekerja secara sinergis maupun antagonis satu dengan yang lain untuk menghasilkan gerakan berlari. Otot primer berasal dari otot-otot anggota gerak bawah tubuh (*ekstremitas inferior*) sedangkan otot pendukung berasal dari anggota tubuh yang lain.<sup>16</sup>

### 2.2.3. Otot-otot Primer

Otot-otot yang berperan sebagai penggerak utama yaitu:

1. *m. quadriceps femoris*

Otot ini sebenarnya merupakan gabungan dari beberapa otot paha pada kompartemen yang sama yaitu kompartemen *anterior* paha. Otot-otot yang menyusun terdiri dari *m. vastus medialis*, *m. vastus lateralis*, *m. vastus medialis* dan *m. rectus femoris*. Kelompok ini mengaktifkan 2 sendi-sendi pinggul dan lutut, terutama untuk menekuk pinggul (membungkuk) dan meluruskan lutut.

2. *m. gluteus maximus*

Merupakan salah satu dari 3 otot *gluteal* dan merupakan yang terbesar di antara ketiganya. Otot ini berperan sebagai pembentuk pantat, bersama dengan *corpuseculum adiposum* dan berfungsi sebagai eksorotator femur. Fungsi utamanya untuk menjaga bagian belakang tubuh untuk tetap tegap serta untuk mendorong kedudukan pinggul ke posisi yang tepat. Ini sebabnya spesies primata lain memiliki bentuk bokong lebih rata dibanding manusia.

3. *m. iliopsoas*

Otot ini terbentuk dari bagian *distal* dua otot panggul, yaitu *m. iliacus* dan *m. psoas major*. Kelompok otot iliopsoas sebagai penggerak utama gerakan antefleksi femur.

4. *mm. hamstring*

Terdiri dari 4 otot belakang paha yaitu *m. semitendinosus*, *m. semimembranosus*, *m. biceps femoris caput brevis* dan *m. biceps femoris caput longum*. Fungsinya bekerja pada sendi lutut untuk gerakan fleksi cruris.

5. *m. triceps surae*

Otot yang terbentuk dari *caput laterale* dan *mediale m. gastrocnemius* dan *m. soleus*. Otot ini berfungsi untuk *plantarflexi* pergelangan kaki dan lutut saat berlari.<sup>17</sup>

## 2.3. Sepatu Olahraga

### 2.3.1. Bagian-bagian sepatu olahraga

Terdapat Setidaknya ada 3 bagian penting pada sebuah sepatu olahraga yaitu bagian *midsole*, *outsole* dan *heel counter*. Sepatu yang baik memperhatikan komponen-komponen tersebut dalam produksinya sehingga dapat meningkatkan kenyamanan bagi penggunanya.<sup>18</sup>



**Gambar 2.1 Athletic/Running Shoes<sup>3</sup>**

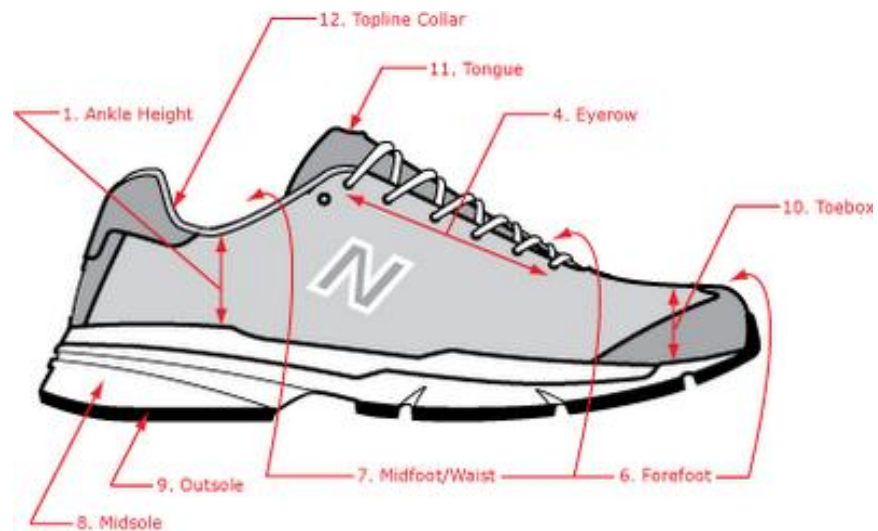
Tabel 2.2 Bagian-bagian Penting Sepatu Olahraga<sup>18,14</sup>

Bagian Sepatu	Definisi	Bahan	Standar
<i>Upper</i>	Bagian kain atau kulit dari sepatu yang membatasi antara sepatu dengan punggung kaki.	Rajutan kain yang dibuat hingga beberapa lapis untuk menyediakan dukungan yang baik.	Bagian ini seharusnya terasa nyaman dan terdapat lubang ventilasi serta tidak bergesekan selama melangkah
<i>Midsole</i>	Lapisan yang terletak di antara bagian <i>upper</i> dan <i>outsole</i>	Semacam busa yang biasanya mengandung bahan-bahan yang membuat bagian ini menjadi lebih ketat	Bagian ini harus mampu mengakomodasi bentuk arkus dan tumit kaki. Kaki harus terasa pas dan tidak boleh terlalu longgar atau terlalu sempit.
<i>Outsole</i>	Bagian dasar sekaligus pondasi dari suatu sepatu	Bagian ini terbuat dari karet atau campuran dari bahan-bahan awet.	Bagian ini seharusnya menyediakan gaya gesek yang memadai untuk permukaan sepatu.
<i>Heel Counter</i>	Penebalan dari bahan plastik ditempatkan di bagian atas sepatu yang terletak di sekitar tumit	Bahan yang kuat namun lembut dan fleksibel seperti plastik	Bagian ini ditujukan untuk mendukung <i>hindfoot</i> dan memberikan penyerapan guncangan

## 2.3.2. Model Hak Sepatu Olahraga

### 2.3.2.1. *Heel-to-Toe Drop Shoes*

Jenis sepatu olahraga ini adalah sepatu yang memiliki ketinggian dasar sepatu yang berbeda jika diukur dari ujung *heel* menuju bagian *forefoot*. Sepatu *Heel-to-Toe Drop* 12 mm dapat



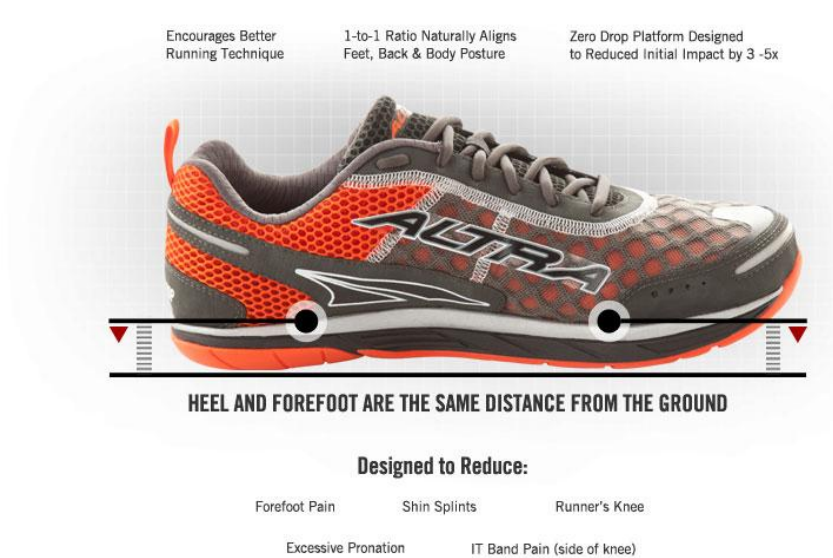
**Gambar 2.2 Bagian-bagian Sepatu *Heels To Toe Drop***

diartikan bahwa sepatu tersebut memiliki selisih tinggi 12 mm jika diukur dari ujung hak hingga ke bagian *forefoot*.<sup>20</sup> Sepatu HTTD memiliki ukuran tinggi hak sepatu lebih dari setengah inci.<sup>18</sup>



### 2.3.2.2. Zero Drop (Flat Shoes)

Jenis sepatu olahraga ini mengacu sepatu olahraga yang pada sol sepatunya memiliki bagian hak sepatu dengan ukuran tinggi kurang dari setengah inci yang memungkinkan kaki depan dan tumit



**Gambar 2.3 Sepatu Zero Drop<sup>3</sup>**

memiliki

jarak yang sama dari tanah. Hal ini memungkinkan untuk merasakan pengalaman berjalan secara alami di mana letak jatuh langkah kaki berada di daerah pertengahan hingga ke daerah kaki depan tidak seperti sepatu dengan hak tinggi yang letak tekanan tertinggi berada di bagian tumit kaki.<sup>19</sup> Sepatu Zero drop merujuk pada sepatu olahraga yang memiliki penurunan 0-3 mm.<sup>18</sup>

## **2.4. Biomekanika dan Ergonomika Lari**

### **2.4.1. Definisi Ergonomi**

Istilah *ergonomic* berasal dari bahasa Yunani “*Ergon*” yang artinya kerja dan “*Nomos*” yang berarti peraturan atau hukum. Ergonomi adalah penerapan ilmu biologis tentang manusia bersama-sama dengan ilmu teknik dan teknologi untuk mencapai penyesuaian satu sama lain secara optimal dari manusia terhadap pekerjaannya yang manfaat dari padanya diukur dengan efisiensi dan kesejahteraan kerja.<sup>18</sup> Ergonomi adalah ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyasikan atau menyeimbangkan antara segala fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan manusia baik fisik maupun mental sehingga kualitas hidup secara keseluruhan menjadi lebih baik,<sup>19</sup> sedangkan menurut *International Labour Organization* (ILO) *ergonomic* adalah penerapan ilmu biologi manusia sejalan dengan ilmu rekayasa untuk mencapai penyesuaian bersama antara pekerjaan dan manusia secara optimal dengan tujuan agar bermanfaat demi efisiensi dan kesejahteraan.

### **2.4.2. Tujuan Ergonomi**

Secara umum tujuan ergonomi<sup>20</sup> adalah:

1. Meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.
2. Meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak social, mengelola dan mengkoordinir kerja secara tepat guna dan meningkatkan

jaminan sosial baik selama kurun waktu usia produktif maupun setelah tidak produktif.

3. Menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek yaitu aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap sistem kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan hidup yang tinggi.

### **2.4.3. Ergonomi Lari**

Studi terkini menyatakan bahwa ergonomi lari penting untuk dapat memprediksi performa lari.<sup>21</sup> Menambahkan hak yang terlalu tinggi sebagai bahan untuk meredam tekanan dapat menguras energi yang seharusnya disimpan dan mengubahnya menjadi energi elastis yang mengakibatkan hilangnya *net efficiency*.<sup>22</sup> Studi lain juga melaporkan bahwa konsumsi oksigen meningkat secara signifikan ketika menambahkan hak yang tebal pada lari di atas *treadmill*.<sup>22</sup> Menurut Stefanyshyn dan Nigg, material yang digunakan untuk hak sepatu serta *midsole* yang kokoh seharusnya mengurangi penggunaan energi sebesar 2% dibandingkan *midsole* yang biasa.<sup>23</sup>

#### **2.4.3.1. Ergonomi Sepatu**

##### **2.4.3.1.1. Elastisitas *Midsole***

Banyak riset yang telah dilakukan pada *midsole* ini untuk mengetahui mekanisme pada otot selama berlari yang pada akhirnya dapat menambah pemahaman tentang proses terjadinya cedera pada ekstremitas bawah selama berlari.<sup>3</sup>

2 studi telah dilakukan dengan membandingkan hasil catatan EMG pada subjek yang menggunakan sepatu dengan kekerasan

*midsole* yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui penyesuaian yang dilakukan oleh otot-otot ekstremitas bawah melalui pembacaan amplitudo yang dihasilkan.<sup>3</sup>

Hasil yang didapat adalah otot-otot ekstremitas bawah manusia ternyata dapat menyesuaikan aktivitas dengan sepatu yang memiliki kekerasan *midsole* yang berbeda-beda. Hasil ini diperoleh dari 20 riset terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil EMG terhadap kekerasan *midsole* sepatu.<sup>3</sup>

Divert et al. (2005)	35 Healthy runners (31 males, 4 females) Age: 28 ( $\pm 7$ ) years	(1) Barefoot (2) Standard running shoe	Tib. anterior Per. longus Med. gastroc Lat. gastroc Soleus	Running	Mean EMG amplitude	Med. gastroc, lat. gastroc, soleus—significantly greater amplitude with barefoot condition compared to running shoe
Jorgensen (1990)	11 Symptom-free heel strike runners (5 females, 6 males) Age: 25.5 years (range 14–37) <sup>a</sup>	(1) Barefoot (2) Athletic shoe with rigid heel counter (3) Athletic shoe with heel counter removed	Hamstrings <sup>b</sup> Quadriceps <sup>b</sup> Triceps surae <sup>b</sup> Tib. anterior	Running	Normalized EMG amplitude Time to peak amplitude No. of turns in EMG signal	Triceps surae and quadriceps—significantly earlier activity, greater amplitude and no. of turns with heel counter removed compared to shoes with rigid heel counter
Komi et al. (1987)	4 Males with “athletic background” Age: 32 ( $\pm 9.4$ ) years	(1) Barefoot (2), (3), and (4) “Jogging shoes” (5) and (6) “Indoor shoes” (indoor shoes comprised harder sole characteristics)	Rec. femoris Vast. medialis Lat. gastroc Tib. anterior	Running	Mean and integrated EMG	No significant differences between conditions
Nigg et al. (2003)	20 Male runners free from serious injury <sup>a</sup>	(1) Shoe with mainly elastic heel (shore C = 45) (2) Shoe with softer more viscous heel (shore C = 26)	Tib. anterior Med. gastroc Vast. medialis Hamstring group <sup>b</sup>	Running	RMS amplitude	No significant differences between conditions
O'Connor and Hamill (2004)	10 Males (“rearfoot strikers”) Age: 27 ( $\pm 5$ ) years	(1) Running shoe—neutral (2) Running shoe—medial wedge (3) Running shoe—lateral wedge (EVA rearfoot wedge tapered by 1 cm across heel of midsole + no heel counter on shoes)	Med. gastroc. Lat. gastroc Soleus Tib. posterior Tib. anterior Per. longus	Running	Integrated and mean EMG EMG onset and offset	No significant differences between conditions

**Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu tentang Tingkat Kekerasan *Midsole* terhadap Hasil EMG<sup>3</sup>**

Kesimpulan yang diperoleh adalah kekerasan *midsole* setidaknya dibuat dengan bahan yang selektif sesuai dengan serat otot kaki dalam upaya untuk mengurangi kelelahan otot yang dapat mengurangi performa lari.<sup>3, 53</sup>

#### **2.4.3.1.2. *Motion-control***

Faktor pembeda yang paling mendasar antara sepatu lari modern dengan yang tradisional adalah kekakuan dari *midsole*. Sepatu modern sudah mengadopsi teknologi yang disebut *motion-control*. *Motion-control* yang dimaksud adalah tingkat kekakuan dari *midsole* suatu sepatu. *Motion control* memungkinkan sepatu untuk memiliki tingkat elastisitas yang tinggi sehingga dapat memiliki tahanan yang tinggi terhadap suatu kondisi yang mengharuskan sepatu untuk berubah bentuk secara ekstrem. Hal ini memberikan efek positif sepatu dapat ditekek dan sepatu dapat terhindar dari kerusakan *midsole* jika sewaktu-waktu sepatu tertekuk secara mendadak.<sup>3, 53</sup>

Setidaknya ada 2 penelitian yang telah dilakukan terhadap *motion-control*. Hasilnya adalah *motion-control* memiliki efek positif terhadap aktivitas otot ekstremitas bawah. Teknologi ini mampu memberikan *range of movement* yang sesuai untuk kaki yang *flat foot* atau orang dengan kaki yang *hipermobile*. Hal ini salah satunya didukung dengan berkurangnya kecepatan kelelahan otot dengan menormalkan onset dari penggunaan energi untuk kontraksi kelompok otot

*vastii* pada orang yang memiliki kaki dengan posisi pronasi berlebih.<sup>3, 53</sup>

#### **2.4.3.1.3. *Midsole Wedging***

*Midsole wedging* adalah penambahan lengkungan pada bagian *midsole* sepatu dengan tujuan untuk menyesuaikan terhadap aktivitas otot ekstremitas bawah pada kasus-kasus tertentu. Sudah ada 2 jenis *midsole wedging* yang telah dikembangkan saat ini antara lain *vagus wedge sole* dan *varus wedge sole*. Keduanya dimaksudkan untuk membantu orang-orang dengan kondisi *ricketisia* yang bisanya memiliki bentuk kaki menyerupai huruf “O” atau huruf “X”. *Varus wedge sole* didesain untuk membantu mengurangi kebutuhan dari aktivitas otot-otot ekstremitas bawah yang terletak di medial seperti *m. tibialis posterior*, dan meningkatkan kebutuhan untuk aktivitas dari otot-otot sebelah lateral. Hal ini berlaku sebaliknya untuk tipe *vagus wedge sole*.<sup>3, 53</sup>

Harapannya adalah desain-desain tersebut mampu mengembalikan keseimbangan aktivitas otot pada orang-orang tersebut. Penelitian dilakukan untuk membuktikan kebenaran dari teori tersebut pada tahun 2004 oleh O’Connor dan Hamill. Hasil yang didapat dari pembacaan EMG pada subjek penelitian tersebut ternyata kurang memuaskan. Tidak ditemukan hubungan yang jelas dari penggunaan *wedging sole* terhadap

aktivitas otot ekstremitas bawah yang dapat mempengaruhi performa lari.<sup>3, 54</sup>

#### **2.4.3.1.4. Bantalan Tumit**

Bantalan tumit merupakan bagian yang terbuat dari material plastik yang terletak di bagian atas pada area sekitar tumit. Fungsi utamanya adalah untuk membantu menyerap benturan pada bagian tumit. Riset yang dilakukan oleh *Jorgensen* pada tahun 1990 menghasilkan kesimpulan dari hasil pembacaan EMG pada aktivitas otot-otot ekstremitas bawah pada subjek yang menggunakan sepatu tanpa bantalan tumit dan sepatu yang memiliki bantalan tumit bahwa terdapat perbedaan amplitudo yang signifikan pada *m. triceps surae* dan *m. quadriceps femoris* yang menandakan bahwa aktivitas dari otot-otot tersebut dapat diminimalisir.<sup>3, 54</sup>

Sejauh ini baru ada satu riset yang meneliti tentang hal tersebut sehingga dibutuhkan riset lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan bantalan tumit pada sepatu lari.<sup>3, 54</sup>

### 2.4.3.1.5. Hak Sepatu

#### 2.4.3.1.5.1. *High-heeled shoes*

Sepatu dengan hak tinggi termasuk dari tuntutan dari *fashion* saat ini. Banyak produk sepatu yang menambahkan hak tinggi sebagai perwujudan dari permintaan masyarakat.<sup>3, 55</sup>

Sepatu dengan hak yang tinggi erat kaitanya dengan insiden deformitas pada kaki seperti *bunions* dan *claw toe*. Uniknya, banyak orang yang tetap memakainya dengan mengetahui risiko tersebut.<sup>3, 55</sup>

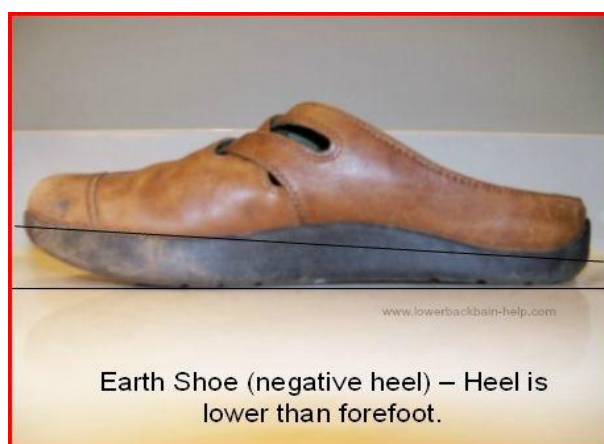
Riset yang dilakukan oleh Niggel dkk, pada tahun 2009 menemukan bahwa tidak terjadi perbedaan yang terlalu signifikan pada hasil bacaan amplitudo EMG dari *m. gluteus medius*, *m. vastus medial*, *m. biceps femoris*, *m. gastrocnemius vastus medialis* dan *m. tibialis anterior* menggunakan analisis gelombang EMG.<sup>3, 55</sup>

Sebagai kesimpulan, sepatu hak tinggi dapat menyebabkan tubuh kehilangan keseimbangan sehingga meningkatkan risiko terjadinya cedera pada kaki. Riset yang dilakukan seperti oleh Niggel, dkk menghasilkan hasil yang relatif normal mungkin disebabkan oleh sampel yang kecil dan memerlukan lebih cakupan yang lebih luas.<sup>3, 55</sup>



#### 2.4.3.1.5.2. *Negative-heeled shoes*

Berbeda dengan *high-heel shoes*, *negative heeled shoes* menurut hasil riset yang dilakukan oleh Li dan Hong pada tahun 2007 menunjukkan bahwa dibandingkan dengan *normal-heeled shoes* hasil bacaan amplitudo EMG yang dihasilkan lebih besar untuk *m. biceps femoris*, *m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius caput lateral* serta menghasilkan durasi EMG yang lebih lama untuk *m. gastrocnemius caput lateral* dan *m. tibialis anterior* hal tersebut mengindikasikan sepatu jenis ini dapat digunakan untuk membantu program rehabilitasi atau latihan yang memerlukan batuan inklinasi pada permukaan alat latihan.<sup>3,55</sup>



**Gambar 2.4** *Negative Heeled-shoes*<sup>3</sup>

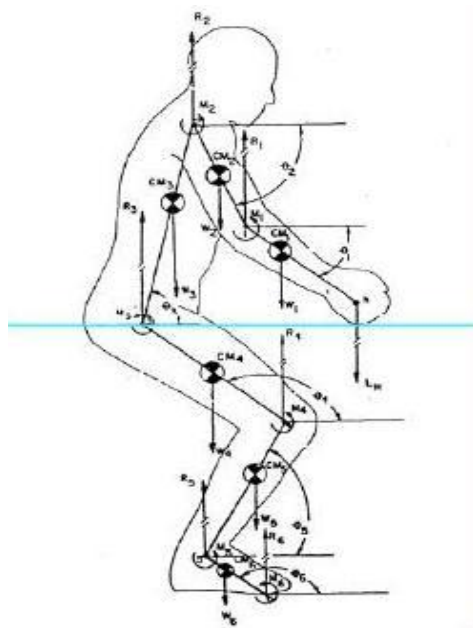
#### 2.4.4. Biomekanika Lari

Biomekanika adalah ilmu mekanika teknik untuk analisa sistem kerangka otot manusia. Biomekanika menggunakan konsep fisika dan teknik untuk menjelaskan gerakan pada bermacam-macam bagian tubuh dan gaya yang bekerja pada bagian tubuh pada aktivitas sehari-hari. Kajian biomekanika dapat dilihat dalam perspektif, yaitu kinematika dan kinetika. Posisi, kecepatan dan percepatan merupakan studi kinematika. Kajian kinetika menjelaskan tentang gaya yang bekerja pada suatu sistem, misalnya tubuh manusia.<sup>24</sup>

Dalam analisis biomekanika, tubuh manusia dipandang sebagai sistem yang terdiri dari *link* (penghubung) dan *joint* (sambungan), tiap *link* mewakili segmen-segmen tubuh tertentu dan tiap *joint* menggambarkan sendi yang ada.

Menurut Chaffin dan Anderson tubuh manusia terdiri dari enam *link*, yaitu:

1. *Regio* lengan bawah yang dibatasi oleh sendi telapak tangan dan siku.
2. *Regio* lengan atas yang dibatasi oleh sendi siku dan bahu.
3. *Regio* punggung yang dibatasi oleh sendi bahu dan pinggul.
4. *Regio* paha yang dibatasi oleh sendi pinggul dan lutut.
5. *Regio* betis yang dibatasi oleh sendi lutut dan mata kaki.
6. *Regio* kaki yang dibatasi oleh sendi mata kaki dan telapak kaki.



**Gambar 2.5 Pusat-Pusat Massa Sesuai Segmen tubuh<sup>24</sup>**

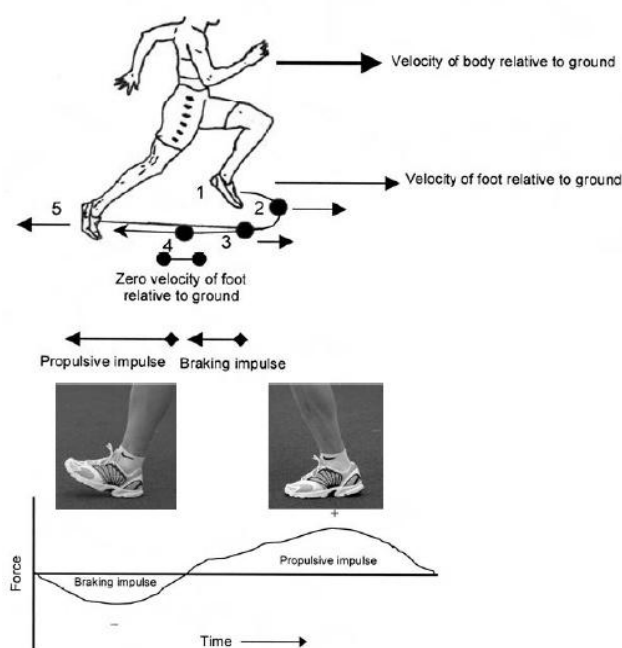
Hal seperti yang disebutkan di atas bahwa manusia dapat disamakan dengan segmen benda jamak maka panjang setiap link dapat diukur berdasarkan persentase tertentu dari tinggi badan, sedangkan beratnya berdasarkan persentase dari berat badan. Penentuan letak pusat massa tiap *link* didasarkan pada persentase standar yang ada. Panjang setiap *link* tiap segmen berotasi di sekitar sambungan dan mekanika terjadi mengikuti hukum newton. Prinsip-prinsip ini digunakan untuk menyatakan gaya mekanik pada tubuh dan gaya otot yang diperlukan untuk mengimbangi gaya-gaya yang terjadi.<sup>25</sup>

Secara umum pokok bahasan dari biomekanika adalah untuk mempelajari interaksi fisik antara pekerja dengan mesin, material dan peralatan dengan tujuan untuk meminimumkan keluhan pada sistem kerangka otot agar produktivitas kerja dapat meningkat. Menghindari keluhan pada sistem kerangka otot dapat ditanggulangi dengan perancangan sistem kerja

seperti alat kerja atau postur kerja yang ergonomis seperti yang telah disebutkan di atas atau melakukan pengendalian administratif (pemilihan personel yang tepat, pelatihan tentang teknik-teknik penanganan material). Misalnya pada gerakan jalan yang terpenting adalah keseimbangan. Gerakan ini memperlihatkan bagaimana kedua kaki saling menyeimbangkan berat tubuh dalam pergerakan berpindah.<sup>26</sup>

#### 2.4.4.1. Kinetika Lari

Dalam berlari ada saat kaki tidak menyentuh tanah (*swing*) dan saat kaki mendarat (*strike*). Fase *strike* sendiri masih terbagi menjadi 2 fase, yaitu *heel strike* dan *forefoot strike*.<sup>26</sup>



**Gambar 2.6 Fase Saat Kaki Menapak**<sup>27</sup>

Jika tumit kaki menekan ke belakang maka terjadi pengereman. Hal ini disebabkan seluruh beban berat badan bertumpu pada tumit kaki

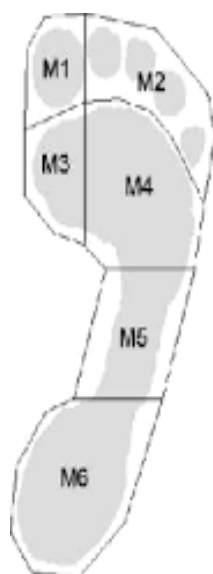
(*braking impulse*) yang mengakibatkan tingginya aksi tekanan tubuh pada tanah. Sedangkan pada *propulsive impulse* adalah gerakan mendorong, adanya pelepasan berat titik beban berat badan ke depan yang memperkecil tekanan tubuh pada tanah yang menyebabkan terjadinya gerakan mengais.<sup>28</sup>

#### **2.4.4.2. Keseimbangan Badan saat Berlari**

Keseimbangan badan saat berlari sangat tergantung pada dua hal, yaitu COP (*Centre of Pressure*) dan COG (*Centre of Gravity*). Kedua titik ini perlu diperhatikan karena dalam usahanya menyeimbangkan posisi badan (*truncus*) manusia memiliki sistem proprioseptif yang mencakup sensasi tubuh terhadap rasa gerak (kinetik), rasa sikap (statognesia) dari otot persendian, rasa getar (pallesthesia), rasa tekan dalam dan nyeri dalam otot. Reaksi tubuh menggerakkan beberapa otot terkait untuk menstabilkan posisi tubuh jika belum sesuai dengan COP dan COG.<sup>12, 28</sup>

### 2.4.4.2.1. Centre of Pressure (COP)

COP merupakan suatu titik pada bagian tubuh yang memiliki nilai total dari semua tekanan yang sedang bekerja



<i>Mask</i>	<i>Region</i>
M1	<i>Hallux</i>
M2	<i>Lesser Digits</i>
M3	<i>First Metatarsal</i>
M4	<i>Second to fifth Metatarsal</i>
M5	<i>Midfoot</i>
M6	<i>Hindfoot</i>

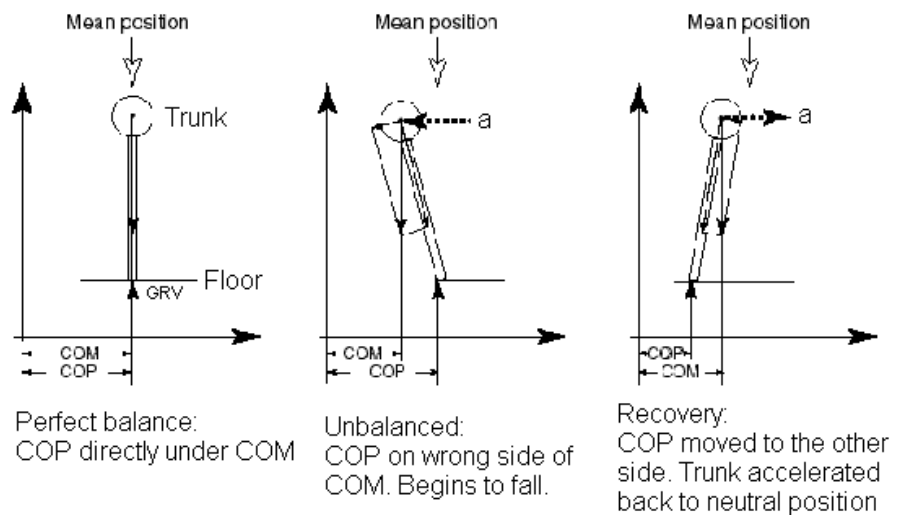
**Gambar 2.7 Distribusi Tekanan yang Terjadi pada Telapak Kaki<sup>29</sup>**

sehingga nilai gaya pada titik tersebut tidak memiliki momentum.<sup>29</sup>

Telapak kaki memiliki pembagian distribusi tekanan menjadi 6 bagian (gambar 2.5). Perubahan distribusi tekanan yang signifikan pada salah satu area dapat mengubah tempat COP berada. Terjadi pergeseran distribusi tekanan dari *hind foot* ke *fore foot* jika tinggi hak sepatu yang digunakan memiliki tinggi lebih dari 4 cm.<sup>29</sup>

#### 2.4.4.2.2. Centre of Gravity (COG)

Titik yang dipakai gaya gravitasi pada tubuh dikenal sebagai pusat gravitasi. Pusat gravitasi ini merupakan bagian dari pusat massa/*Centre of Mass* (COM). Perbedaan dari COG dan COM adalah gravitasi. Gravitasi yang bekerja pada suatu benda mengakibatkan benda tersebut memiliki COG. Setiap sesegmen tubuh memiliki COGnya sesuai dengan



**Gambar 2.8 Skema Tubuh dalam Menjaga Keseimbangan<sup>29</sup>**

o

sisi tubuh saat itu. COG ini digunakan sebagai acuan oleh sistem propioseptif tubuh untuk mengetahui posisi tubuh. COP yang tidak sesuai dengan COGnya diberi kompensasi berupa pergerakan otot untuk mendekatkan COP ke COG dengan tujuan agar posisi tubuh tetap dalam keadaan seimbang.<sup>26</sup>

## 2.5. Kelelahan Muskuloskeletal

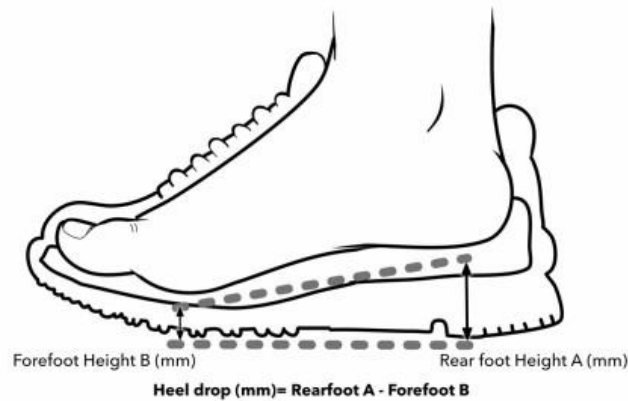
Aktivitas *Manual Materi Handling* (MMH) yang tidak tepat dapat menimbulkan kerugian bahkan kecelakaan kerja. Akibat yang ditimbulkan dari aktivitas MMH yang tidak benar salah satunya adalah keluhan muskuloskeletal. Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang lama dapat mengakibatkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan inilah yang biasanya disebut sebagai muskuloskeletal disorder (MSDs) atau cedera pada sistem muskuloskeletal.<sup>30</sup>

Menurut teori tekanan, tekanan berbanding terbalik dengan luas permukaan suatu benda. Semakin besar luas permukaan suatu benda, maka tekanan semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil luas permukaan suatu benda, maka tekanan semakin besar. Sepatu hak tinggi mempunyai luas permukaan hak yang kecil. Hal ini sangat kontras dengan sepatu datar yang memiliki luas permukaan sepatu lebih lebar sehingga tekanannya menjadi lebih kecil.<sup>31</sup>

Hukum Newton yang ketiga menjelaskan bahwa untuk setiap reaksi ada hasil dan reaksi yang berlawanan. Ini berlaku untuk gaya yang diberikan pada lantai melalui sepatu hak tinggi yang menghasilkan reaksi dan berlawanan dengan gaya gravitasi. Reaksi pada lantai yang melawan gravitasi dengan memberikan tekanan yang lebih besar pada luas permukaan sepatu yang kecil berpengaruh pada pembuluh darah yang tersumbat sehingga mengakibatkan penumpukan darah dan terjadilah nyeri. Rasa nyeri tersebut dapat terjadi pada otot-otot ekstremitas bagian bawah tubuh.<sup>31</sup>

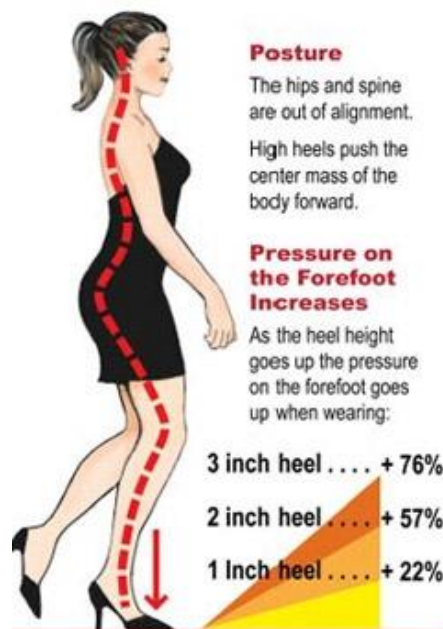


Pada sepatu olahraga yang memiliki hak tinggi, penyebab terjadinya kelelahan muskuloskeletal sedikit berbeda.



**Gambar 2.9 Ilustrasi Keadaan Kaki Di dalam sepatu HTTD<sup>31</sup>**

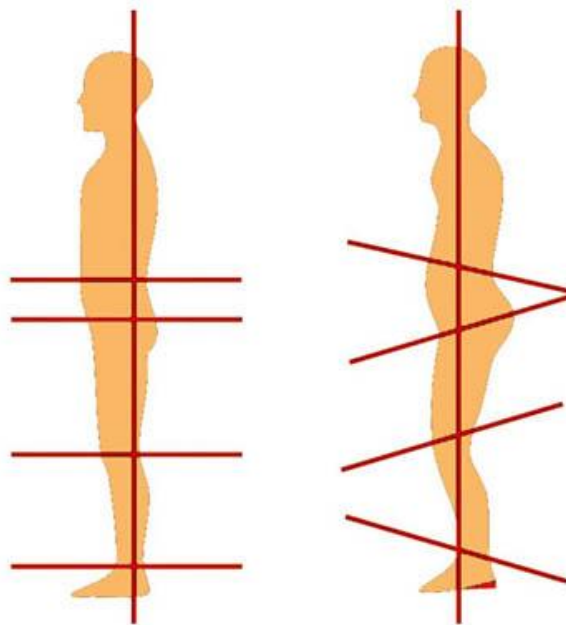
Sepatu olahraga memiliki luas permukaan sepatu yang sama namun hal yang membedakan adalah di dalam sepatu tetap terjadi penurunan dari tumit menuju ke ujung kaki sesuai dengan tinggi hak sepatu olahraga tersebut.



**Gambar 2.10 Kondisi yang Tidak Ergonomi Saat Mengenakan Sepatu dengan Hak Terlalu Tinggi<sup>32</sup>**

Hal tersebut menyebabkan terjadinya perpindahan tekanan pada telapak kaki jika melebihi tinggi tertentu.<sup>32</sup> Tinggi hak sepatu yang berkisar antara 3-5 cm merupakan tinggi hak sepatu yang terbaik untuk mempertahankan perubahan distribusi tekanan yang signifikan.<sup>32</sup> Perubahan distribusi tekanan yang berlebihan ini membuat tubuh untuk segera melakukan kompensasi melalui sistem muskuloskeletal yang mempengaruhi stabilitas tubuh.<sup>32</sup>

Masalah lain yang muncul pada penggunaan sepatu yang memiliki hak semakin tinggi adalah berubahnya posisi natural kaki. Hal ini menyakibatkan *Pedis* berada pada posisi yang cenderung *plantar flexi*.<sup>33</sup> Posisi ini menyebabkan *tendo achilles* selalu berada pada posisi memendek karena otot *calf* (betis) terpacu untuk berkontraksi.<sup>33</sup> Hal ini tentu saja mengakibatkan bertambahnya konsumsi energi diakibatkan bertambahnya jumlah otot yang bekerja. Aktivasi dari otot-otot yang tidak mendukung gerakan lari sebisa mungkin untuk dihindari untuk dapat menghasilkan performa lari yang optimal.<sup>34</sup>



**Gambar 2.11 Perubahan Posisi Curva Tubuh Akibat Penambahan Hak pada Sepatu<sup>35</sup>**

Sepatu dengan hak yang tinggi mempengaruhi postur tubuh. Sepatu hak tinggi memaksa *truncus* dalam keadaan lordosis (badan lebih tegap, karena kurva tulang belakang melengkung ke depan). Hal ini dipengaruhi oleh perubahan COM badan ke arah depan.<sup>35</sup> Keadaan ini pada akhirnya juga berimbas pada meningkatnya metabolisme tubuh karena bertambahnya jumlah energi yang dibutuhkan akibat aktivitas *m. Erector trunci* yang harus mempertahankan posisi tubuh pada keadaan ini dan mempercepat terjadinya kelelahan otot.<sup>32, 33</sup>

## 2.6. Performa Lari

Performa lari merupakan standar kualitas yang dapat dicapai saat berlari. Performa lari ini bisa diukur melalui beberapa cara antara lain  $VO_2$  Max, denyut nadi kerja dan waktu tempuh lari. Nilai  $VO_2$  Max paling sering digunakan untuk mengukur performa lari karena dapat menyajikan data yang reliabel dan bias yang terjadi sangat minimal.<sup>37</sup>

### 2.6.1. Faktor yang Mempengaruhi Performa Lari

Banyak faktor yang mempengaruhi performa lari yang dihasilkan seseorang. Secara garis besar faktor ini terbagi menjadi faktor internal dan faktor eksternal.<sup>23</sup>

#### 1. Faktor Internal

Merupakan faktor yang berpengaruh paling besar dalam menentukan performa lari seseorang. Faktor internal dapat mempengaruhi sebesar 60-80% dari performa lari, jauh lebih besar dari faktor eksternal.<sup>37</sup> Faktor-faktor internal tersebut meliputi antara lain:

##### a) *Body Mass Index* (BMI)

*Body Mass Index* adalah ukuran dari berat seseorang dalam kilogram dibagi dengan kuadrat tinggi orang tersebut dalam meter.<sup>28</sup> Nilai BMI dapat dijadikan indikator untuk menentukan kategori berat badan yang ideal atau kelebihan berat badan. Nilai BMI yang tinggi mengindikasikan bahwa orang yang bersangkutan memiliki jumlah lemak yang berlebih dalam jaringan. Selama berlari, jumlah energi yang dibutuhkan oleh tubuh berbanding lurus dengan nilai BMI orang tersebut.<sup>28</sup>

Kebutuhan energi seseorang dapat dihitung menggunakan rumus *Benedict* dimana perhitungannya adalah:

$$\text{Kebutuhan Energi} = \text{AMB} \times \text{Faktor Aktivitas}$$

Keterangan:

- AMB = Angka Metabolik Basal
- Kebutuhan energi dalam satuan kkal

Faktor aktivitas tergantung tabel Harris Benedict yaitu:

No	Jenis Kegiatan	Faktor Aktivitas	
		Pria	Wanita
1	Sangat ringan (bed rest, tidur)	1,50	1,30
2	Ringan (berjalan, membaca)	1,65	1,55
3	Berat (lari, mencuci pakaian)	1,76	1,70
4	Sangat Berat (berenang, angkat besi, menyelam)	2,10	2,00

**Tabel 2.3 Faktor Aktivitas *Harris Benedict*<sup>28</sup>**

AMB sendiri dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Laki - laki} : 66 + (13,7 \times \text{BB}) + (5 \times \text{TB}) - (6,8 \times \text{U})$$

$$\text{Perempuan} : 665 + (9,6 \times \text{BB}) + (1,8 \times \text{TB}) - (4,7 \times \text{U})$$

Keterangan:

- 1) BB = berat badan (dalam Kg)
- 2) TB = Tinggi Badan (dalam Cm)
- 3) U = Usia (dalam tahun)

Melalui BMI ini sendiri tersirat bahwa umur dan *gender* juga berpengaruh selain tinggi dan berat badan seseorang.<sup>23</sup>

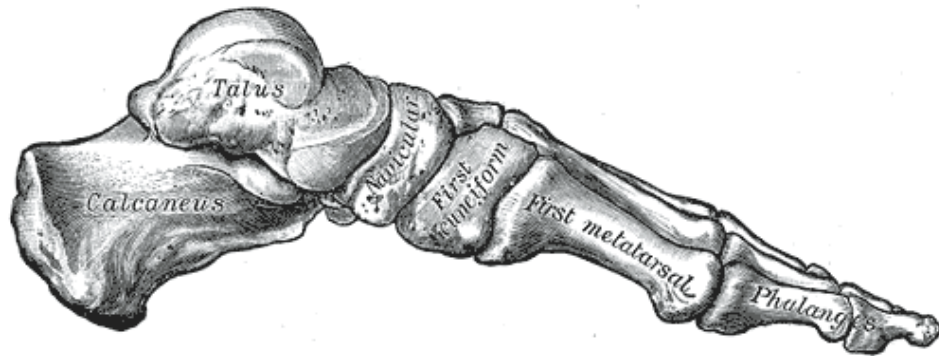
b) Kondisi tubuh

Orang yang sedang tidak bugar (terjangkit penyakit) mengalami penurunan dalam performa lari. Hal ini dikarenakan fungsi tubuh yang sedang terganggu akibat adanya infeksi pada tubuh orang tersebut. Konsentrasi hilang, kebutuhan energi meningkat sehingga orang yang sakit menjadi lebih mudah lelah.<sup>23</sup>

c) Kebugaran Kardiovaskular dan Respirasi

Keterbatasan fisik yang membatasi tingkat energi bisa dilepaskan saat aerobik tergantung pada gabungan sistem kardiovaskular dan respirasi. Banyak orang yang memiliki kelainan bawaan pada kedua sistem ini. Performa lari dari orang yang normal dan memiliki kelainan bawaan dalam sistem ini tidak dapat dibandingkan.<sup>23</sup>

Hal ini dikarenakan gabungan kerja dari kedua sistem ini sangat berpengaruh dalam transportasi oksigen ke jaringan yang berperan vital dalam metabolisme energi yang digunakan saat berlari.<sup>23</sup>

d) Kedalaman *Arcus Pedis*

**Gambar 2.12 Anatomi *Pedis* beserta *Arcus Pedis*<sup>23</sup>**

*Arcus pedis* atau *Arcus longitudinalis pedis* adalah bagian melengkung pada telapak kaki yang terdiri dari *os. Calcaneus*, *os. Talus*, *os. Os. Navicular*, 3 *oss. Cuneiform* dan 3 *oss. Metatarsales*. Pada saat berdiri dengan dua kaki, setengah dari berat badan ditopang oleh tumit dan setengah lagi oleh *os. metatarsal*, sepertiga dari berat badan yang ditopang tulang metatarsal adalah tulang metatarsal pertama dan sisanya oleh kaput metatarsal. Beban berat badan di titik tumpu telapak kaki juga dibagi rata pada bagian depan oleh tulang sesamoid pada *capitulum ossi metatarsal I* serta *capitulum ossi metatarsal II-IV* dan bagian belakang telapak kaki oleh *processus medialis tuber calcanei*. Pusat gravitasi berada di tengah garis bidang sagital tubuh, sehingga tidak ada bagian tubuh yang lebih berat.<sup>23</sup>

*Arcus pedis* ini memiliki kedalaman yang berbeda-beda setiap orang. *Flat foot* merupakan *arcus pedis* yang kedalamannya kurang dari 1 cm. Hal ini mengakibatkan

perubahan pusat gravitasi yang mengakibatkan perubahan tekanan pada telapak kaki. Pada saat berlari posisi kaki bisa menjadi terlalu pronasi. Hal ini dapat mempercepat kelelahan otot yang dapat menghasilkan kondisi tendinitis. Performa lari dipengaruhi oleh bentuk *arcus pedis* masing-masing orang.<sup>23</sup>

## 2. Faktor Eksternal

### a) Sepatu

Faktor eksternal hampir seluruhnya dipengaruhi oleh penggunaan sepatu. Perkembangan zaman menyebabkan telah dikembangkan sepatu berdasarkan kegunaannya. Beragam jenis sepatu sudah ada saat ini mulai dari sepatu olahraga, sepatu *lifestyle*, hingga sepatu keamanan yang digunakan untuk profesi-profesi tertentu. Khususnya untuk sepatu lari masih banyak yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah kondisi lingkungan yang dijadikan tempat berlari. Medan pegunungan yang sering disebut *trail run* membutuhkan sepatu lari khusus yaitu sepatu *trail shoes*. Lari yang dilakukan di jalanan aspal membutuhkan sepatu lari jenis *road shoes*. Tujuan berlari juga harus diperhatikan. *Pace shoes* digunakan untuk mendukung perlombaan lari jarak pendek karena material yang sangat ringan sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan akselerasi yang sangat dibutuhkan untuk menempuh jarak yang pendek. Sepatu jenis *rush* digunakan untuk lari jarak sedang hingga jauh karena didesain untuk



mengakomodasi kenyamanan kaki cenderung lebih tebal dan berat sehingga diharapkan kaki lebih tahan untuk menempuh jarak yang jauh.<sup>23</sup>

Pemilihan sepatu yang tepat dapat membantu pelari memperoleh pengalaman terbaik untuk berlari sehingga diharapkan dapat meningkatkan performa yang dihasilkan.<sup>23</sup>

#### b) Pakaian

Pakaian adalah salah satu atribut lain terpenting yang digunakan saat berlari. Pakaian olahraga akhir-akhir ini mulai dikembangkan dengan



**Gambar 2.13 Pakaian Kompresi<sup>23</sup>**

desain kompresi. Teknik kompresi ini sebenarnya didasarkan dengan fakta pada fisiologi tubuh. Beberapa riset menunjukkan bahwa pakaian yang ketat merangsang otot untuk mempertahankan daya output yang dikeluarkan selama berolahraga. Hal ini disebabkan baju kompresi membuat otot lebih stabil pada tempatnya sehingga mengurangi konsumsi energi tambahan yang digunakan untuk mempertahankan posisi otot. Selain itu membantu otot untuk tetap hangat selama berolahraga sehingga tidak cepat dingin yang dapat mengakibatkan kekakuan. Baju kompresi biasanya terbuat dari bahan poliester dan elastane.<sup>20</sup>

Hasil riset lebih lanjut menyatakan bahwa penggunaan pakaian kompresi untuk jangka panjang tidak menghasilkan perubahan performa signifikan untuk mendukung aktivitas olahraga yang sedang dilakukan.<sup>20</sup>

## **2.7. Efek Latihan terhadap VO<sub>2</sub> Max**

Latihan daya tahan mengembangkan konsumsi oksigen. Subjek yang belum terlatih VO<sub>2</sub> maksimal menunjukkan peningkatan sebesar 20% atau lebih setelah mengikuti program latihan selama 6 bulan. Nilai VO<sub>2</sub> maksimal yang tinggi dapat meningkatkan unjuk kerja pada aktivitas daya tahan, yaitu meningkatkan kemampuan rata-rata kerja lebih besar atau lebih cepat.<sup>38</sup> Perbandingan latihan kontinyu lambat memperbaiki daya aerobik dan ambang batas asam laktat. Ambang batas anaerobik dalam teori paling baik ditingkatkan dengan latihan intensitas tinggi, meskipun pada praktik pelaksanaannya lebih

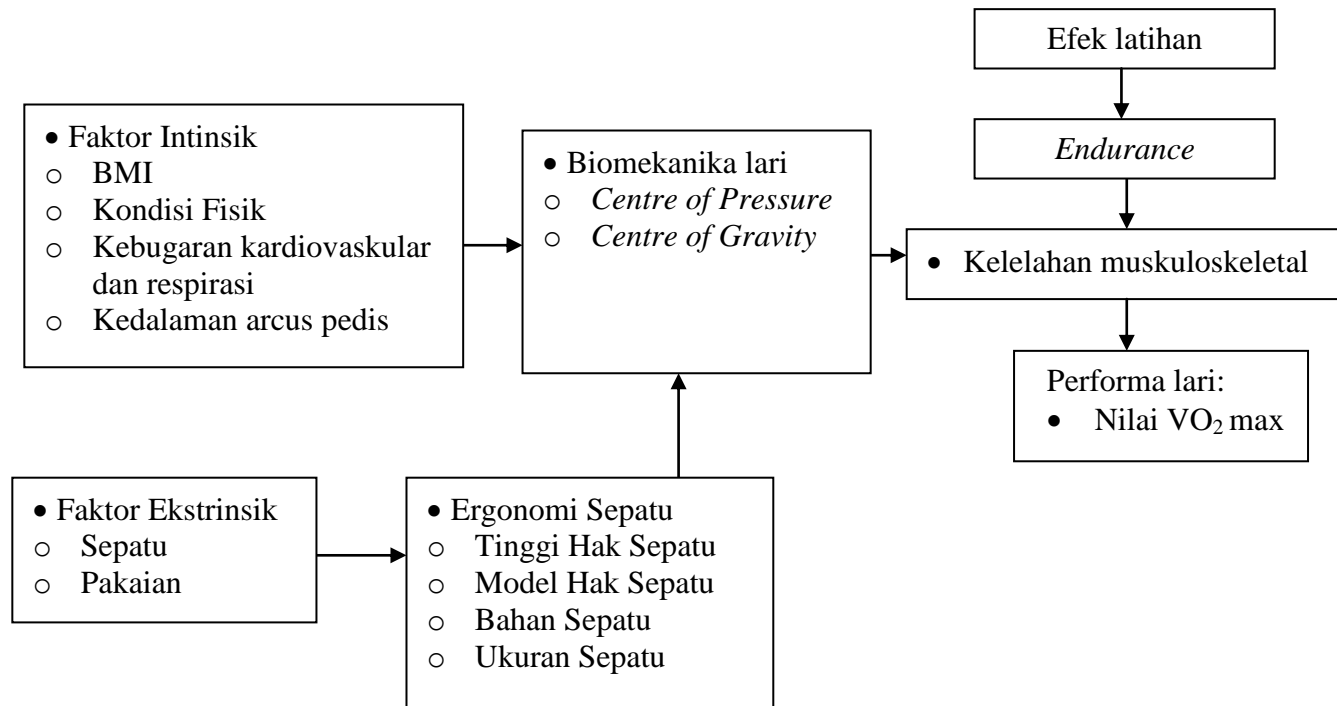
efektif dan efisien dengan latihan kontinyu panjang pada intensitas sekitar 1-2 % dibawah ambang batas asam laktat yang ada.<sup>39</sup>

Meningkatnya intensitas kerja sampai batas VO<sub>2</sub> maksimal menyebabkan terjadinya salah satu dalam konsumsi oksigen, yaitu terjadi keadaan stabil atau sedikit menurun dalam hal denyut nadi.<sup>38</sup> Terjadinya keadaan stabil tersebut menunjukkan bahwa akhir aktivitas semakin dekat karena suplai oksigen tidak dapat memenuhi kebutuhan. VO<sub>2</sub> maksimal membatasi rata-rata kerja atau kecepatan kerja yang dapat dilakukan. Jika aktivitas dilanjutkan sampai beberapa waktu setelah mencapai VO<sub>2</sub> maksimal, sumber energi aerobik habis dan harus segera disuplai dari sumber energi anaerobik dengan kapasitas sedikit, sehingga tidak dapat berlangsung dalam waktu lama. Untuk orang awan, atlet maupun seorang pelatih yang ingin meningkatkan daya tahan harus mengetahui bahwa yang perlu ditingkatkan adalah kemampuan daya tahan sistem kardiovaskuler. Sistem kardiovaskuler yang baik menghasilkan kebutuhan biologis tubuh pada waktu kerja menjadi lancar. Kelancaran tersebut dimungkinkan apabila alat-alat peredaran darah yang mengalirkan darah sebagai media 9 penghantar untuk memberikan zat-zat makanan dan oksigen yang diperlukan jaringan tubuh, dapat menjalankan fungsinya dengan sempurna. Pengertian endurance adalah kemampuan seseorang melaksanakan gerak dengan seluruh tubuhnya dalam waktu yang cukup lama dan dengan tempo sedang sampai cepat, tanpa mengalami rasa sakit dan kelelahan berat<sup>40</sup>

Endurance menyatakan keadaan yang menekankan pada kapasitas melakukan kerja secara terus menerus dalam suasana aerobik dapat berlaku bagi seluruh tubuh, suatu sistem dalam tubuh, daerah tertentu dan sebagainya.<sup>41</sup>

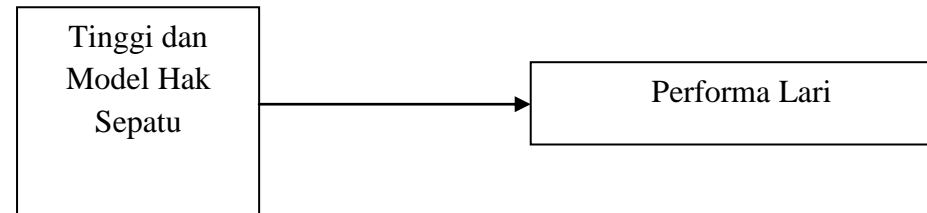
Maximal Aerobik Power dapat dikatakan penentu yang penting pada olahraga ketahanan. Hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa olahragawan yang sukses dalam nomor endurance secara tetap menunjukkan nilai VO2 Max yang tinggi. Nilai VO2 Max tertinggi dicapai pada olahraga yang memerlukan penggunaan energi yang relatif sangat besar dalam jangka waktu yang lama. Penelitian lain telah mengamati hubungan yang erat antar VO2 Max dan prestasi olahraga nomor endurance seperti lari jarak jauh, renang dan bersepeda.<sup>42</sup>

## 2.8. Kerangka Teori



Gambar 2.14 Kerangka Teori

## 2.9. Kerangka Konsep



**Gambar 2.15 Kerangka Konsep**

## **2.10. Hipotesis**

### **2.10.1. Hipotesis Mayor**

Terdapat pengaruh dari penggunaan tinggi dan model hak sepatu lari terhadap performa lari yang dihasilkan.

### **2.10.2. Hipotesis Minor**

- a. Sepatu olahraga dengan model hak *Zero drop shoes* menghasilkan performa lari yang lebih baik daripada sepatu olahraga yang memiliki model *Heels to Toe Drop Shoes*.
- b. Sepatu olahraga yang memiliki tinggi hak lebih dari 4 cm akan menghasilkan performa lebih rendah dibandingkan sepatu olahraga yang memiliki tinggi hak sepatu lebih rendah.