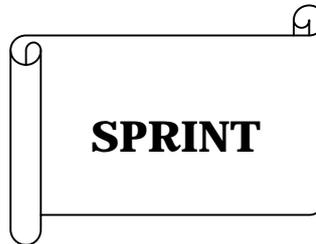


## Kegiatan Belajar 5:



### A. Pertimbangan Dasar :

Dalam cabang atletik nomor lari, tujuan pelari adalah menempuh jarak tertentu dengan waktu tempuh yang sekecil mungkin. Waktu sebenarnya yang dicapai pelari ditentukan oleh jarak perlombaan dan kecepatan rata-ratanya. Kecepatan lari merupakan kombinasi dari dua faktor :

- Jarak yang ditempuh tiap langkah , yaitu panjang langkah (*stride length*)
- Jumlah langkah dalam waktu tertentu, yaitu frekuensi langkah (*stride frequency*), juga disebut *stride cadence* atau *rate of striding*

Maka, pelari yang mempunyai panjang langkah 2 m dan melakukan tiga langkah per detiknya, akan berlari dengan kecepatan 6 m / det :

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan} &= \text{panjang langkah} \times \text{frekuensi langkah} \\ &= 2 \text{ m} / \text{langkah} \times 3 \text{ langkah} / \text{detik} \\ &= 6 \text{ m/detik}\end{aligned}$$

Jika pelari mampu meningkatkan frekuensi langkah sampai empat langkah per detiknya dengan tetap mempertahankan panjang

langkah sebelumnya, maka kecepatannya akan meningkat dengan jelas :

Kecepatan semula = 2 m / langkah X 3 langkah / det = 6 m / det

Kecepatan baru = 2 m / langkah X 4 langkah / det = 8 m / det

Sekalipun demikian, jika peningkatan pada frekuensi langkah ini diikuti dengan penurunan panjang langkah sampai 1,5 m, maka usaha yang dibuat untuk mengadakan perubahan kecepatan, tidak ada gunanya :

Kecepatan semula = 2 m / langkah X 3 langkah / det = 6 m / det

Kecepatan baru = 1,5 m / langkah X 4 langkah / det = 6 m / det

Dengan kata lain, peningkatan dalam frekuensi langkah dapat disesuaikan dengan penurunan yang sebanding dalam panjang langkah, dan kecepatan lari tidak akan berubah. Suatu peningkatan dalam salah satu parameter yang diikuti dengan penurunan dalam parameter lainnya akan mengakibatkan adanya perbaikan dalam kecepatan, yaitu jika penurunannya sedikit lebih kecil bila dibandingkan dengan peningkatannya, contoh :

Kecepatan semula = 2 m / langkah X 3 langkah / det = 6 m / det

Kecepatan baru = 1,8 m / langkah X 4 langkah / det = 7,2 m / det

Dari seluruh penjelasan di atas, nampak bahwa untuk meningkatkan kecepatan, maka pelari harus membuat peningkatan dalam salah satu parameter tanpa menyebabkan parameter lainnya harus diturunkan dengan jumlah yang sebanding.

Karena kecepatan lari sangat ditentukan oleh besarnya panjang langkah dan frekuensi langkah, maka sangatlah penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor yang menentukan besarnya tersebut. Panjang tiap langkah yang dibuat pelari dapat

dianggap sebagai jumlah dari tiga jarak yang terpisah :

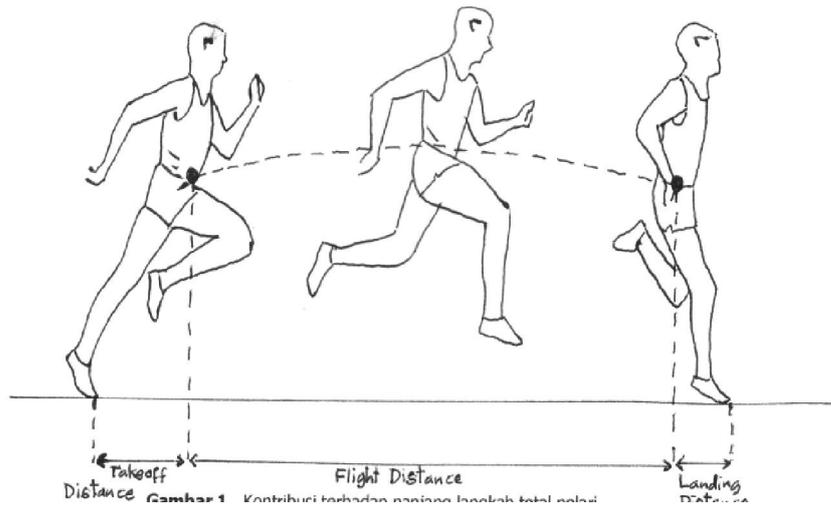
- Jarak takeoff (*takeoff distance*), yaitu jarak horisontal titik berat badan di depan ujung kaki takeoff pada saat terakhir lepas dari tanah.
- Jarak melayang (*flight distance*), yaitu jarak horisontal titik berat badan pada saat melayang di udara
- Jarak mendarat (*landing distance*), yaitu jarak horisontal ujung kaki depan dengan titik berat badan pada saat mendarat.

Kontribusi dari tiap jarak tersebut yang dibuat terhadap panjang langkah total ditunjukkan dengan data pada tabel 1. Data ini diambil dari 12 orang sprinter 100 m laki-laki dengan waktu terbaiknya antara 9,9 – 10,4 det, berlari dengan kecepatan maksimum atau mendekati maksimum.

**Tabel 1.** Kontribusi relatif terhadap panjang langkah (jarak dinyatakan dengan persentase panjang langkah total)

	Minimum	Rata-rata	Maksimum
Takeoff distance	22	26	30
Flight distance	50	57	64
Landing distance	12	17	20

Atwater. A.E. (1981). Kinematic Analysis of sprinting. In J.M. Cooper and B. Haven (Eds), *Proceedings of the Biomechanics Symposium, Indiana University, October 26-28, 1980* (pp 309-10). The Indiana State Board of Health.



Gambar 1. Kontribusi terhadap panjang langkah total pelari

Kontribusi pertama ditentukan oleh posisi tubuh pelari pada saat takeoff. Seberapa besar pelari meluruskan tungkai penumpu sebelum kakinya meninggalkan tanah, dan besarnya sudut tungkai dengan bidang horisontal pada posisi ini, merupakan hal penting yang berkaitan dengan posisi tubuhnya. Sudut yang dibuat tungkai dengan bidang horisontal pada saat kaki lepas kontak dengan tanah merupakan persoalan variasi yang amat penting. Misalnya, dalam kasus pelari sprint pada gambar 2, sudutnya bervariasi mendekati  $30^{\circ}$  pada saat meninggalkan balok start sampai mendekati  $60^{\circ}$  pada saat mendekati posisi langkah penuh. Begitu pula, jarak horisontal dari ujung kaki ke titik berat badan menurun dari 90 cm sampai 40 cm.

Gambar 2. Jarak titik berat badan pelari di depan kakinya pada saat kaki lepas dari tanah bervariasi dengan kecondongan tubuhnya

Selama pelari pada saat itu tidak kontak dengan tanah, maka jarak horisontal yang ditempuhnya ditentukan oleh faktor-faktor yang mengatur melayangnya proyektil, yaitu kecepatan (*speed of release*), sudut (*angle of release*), dan ketinggian saat lepas (*height of release*), serta tahanan udara (*air resistance*) yang menghambatnya. Yang jauh lebih penting dari faktor-faktor ini adalah kecepatan saat lepas, yaitu kuantitas yang ditentukan oleh gaya reaksi dari tanah (*ground-reaction force*) yang digunakan pelari. Kenyataannya, gaya ini terutama diakibatkan oleh ekstensi sendi panggul, sendi lutut, dan sendi pergelangan kaki, yang pelari gunakan terhadap tanah. Sedangkan pengaruh tahanan udara terhadap kecepatan lari merupakan variasi dalam jarak horisontal

yang ditempuh pelari selama fase dimana kemungkinan tahanan udara mempunyai efek terbesarnya.

Jarak horisontal dari ujung kaki depan sampai proyeksi titik berat badan (*line of gravity*) pada saat pelari mendarat selalu paling kecil dari ketiga fase yang memberikan kontribusi terhadap panjang langkah total. Besarnya dibatasi oleh kebutuhan untuk memastikan bahwa gaya reaksi tanah harus memberikan kenyamanan pada saat kaki mendarat. Maka, ketika mengayunkan tungkai bawah ke depan tepat sebelum kaki mendarat, nampaknya merupakan cara yang logis bagi seorang pelari untuk meningkatkan panjang langkahnya, gerak kakinya ke depan pada saat menyentuh tanah mengakibatkan reaksi ke arah belakang (seperti reaksi mengerem - *braking reaction*) yang menurunkan kecepatan pelari ke arah depan. Dengan kata lain, diperolehnya peningkatan panjang langkah yang sedikit, kemungkinan dicapai hanya dengan banyak mengorbankan penurunan panjang atau frekuensi langkah yang sebanding. (catatan : ayunan tungkai bawah ke depan, atau *overstriding* merupakan teknik pelari yang digunakan untuk memperlambat setelah pelari melewati garis finish)

## **B. Frekuensi Langkah (Stride Frequency)**

Jumlah langkah yang dibuat pelari dalam waktu tertentu, ditentukan oleh seberapa lama waktu tempuh untuk menyelesaikan satu langkah, semakin lama semakin sedikit langkah yang dibuat dalam waktu tertentu, dan sebaliknya. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu langkah dapat dianggap sebagai jumlah waktu selama pelari ; (1) kontak dengan tanah, (2) di udara. Ratio waktu ini pada pelari kelas dunia bervariasi dari 2 : 1 selama start sampai antara 1 : 1,3 dan 1 : 1,5,

yaitu bila pelari berlari dengan kecepatan maksimum atau mendekati maksimum. Maka, bila pelari mengeluarkan hampir 67 persen dari waktu tiap langkah selama kontak dengan tanah pada langkah pertama, gambaran ini menurun sampai 40 - 45 persen pada saat mendekati kecepatan puncak.

Waktu selama pelari kontak dengan tanah ditentukan terutama oleh kecepatan dimana otot-otot tungkai penumpu yang dapat mendorong tubuh ke arah depan dan kemudian ke depan dan atas menuju fase melayang selanjutnya.

Seperti parameter lain yang berkaitan dengan gerak proyektil, maka waktu yang digunakan pelari selama di udara ditentukan oleh *kecepatan dan ketinggian titik berat badan (center of gravity) pada saat lepas landas (takeoff) dan oleh tahanan udara yang menghambatnya.*

## **B. Riset-riset tentang Panjang dan Frekuensi Langkah**

Riset telah banyak dilakukan tentang panjang dan frekuensi langkah dari para pelari dengan kemampuan yang berbeda-beda. Riset yang paling dikenal oleh para ahli adalah riset yang dilakukan tentang karakteristik dari beberapa pelari sprint laki-laki dan wanita terbaik dunia.

Hoffman meneliti penampilan 56 pelari sprint 100 m laki-laki dengan prestasi waktu antara 10 sampai 11,4 detik. Hasil riset ini menunjukkan :

- Terdapat hubungan yang kuat antara tinggi badan atlet dengan panjang langkah rata-rata selama lari 100 m. Begitu pula hubungan antara panjang tungkai (diukur dari greater trochanter pada femur sampai ujung jari kaki) dengan panjang langkah rata-rata. (panjang langkah rata-rata dihitung dengan membagi jarak dari garis start sampai ujung langkah sebelum menyentuh garis finish, dengan jumlah langkah total. Dengan demikian, jika kaki pelari mendarat 1 m dari garis finish pada akhir langkah kedua,

maka pelari telah memiliki 50 langkah sampai titik tersebut, maka panjang langkah rata-rata sama dengan  $99 / 50 = 1,98$  m). Rata-rata, panjang langkah rata-rata sama dengan 1,14 kali tinggi atlet atau 2,11 kali panjang tungkainya.

- Sangat berkaitan antara tinggi badan dan panjang tungkai dengan frekuensi langkah rata-rata, meskipun dalam hal ini hubungan salah satunya adalah terbalik. Dengan kata lain, frekuensi langkah rata-rata menurun karena tinggi badan dan panjang tungkai pelari meningkat.
- Panjang langkah maksimum (menurut Hoffman yaitu panjang empat langkah rata-rata antara jarak 50 m dan 60 m) dapat diestimasi dengan akurat, yaitu dengan menambahkan 18 cm terhadap panjang langkah rata-rata. Nilai panjang langkah maksimum terbesar yang sebenarnya diukur adalah 2,37 m dari juara lompat jangkit Olimpiade dan sprinter Uni Soviet. Sekalipun demikian, nilai maksimum yang diestimasi dari beberapa pelari sprint, baginya tidaklah mungkin untuk memperoleh pengukuran sebenarnya yang melebihi gambaran ini. Estimasi tertinggi yaitu 2,46 m.
- Rata-rata, panjang langkah maksimum sama dengan 1,24 kali tinggi pelari. Jika hanya 12 pelari (100 m, dengan waktu 10,7 det atau lebih baik) yang dipertimbangkan, maka nilainya meningkat sampai 1,265 kali tinggi pelari.

Data yang dikumpulkan dari 20 pelari laki-laki mahasiswa Universitas Helsinki dan 12 orang pelari terbaik di Universitas Stanford, Rompotti menyimpulkan bahwa panjang langkah untuk berlari dengan kecepatan penuh normal adalah  $1,17 X$  tinggi  $\pm 4$  in (10 cm).

Sedangkan riset yang dilakukan Atwater terhadap 23 pelari dengan waktu terbaik 9,9 -10,4 det, hasilnya berbeda dengan riset terdahulu. Untuk dua kelompok 12 subjek, panjang langkah rata-rata adalah 2,5 m (dicatat untuk salah satu kelompok pada 50 m) dan 2,34 m ( dicatat untuk kelompok lain pada 60 m). Nilai-nilai ini sama dengan 1,41 dan 1,31 kali tinggi rata-rata subjek dan 2,65 dan 2,47 kali panjang tungkai rata-rata. Perbedaan hasil riset ini diakibatkan oleh dua faktor, yaitu perbedaan dalam

permukaan track (permukaan cinder dan synthetic) serta kualitas pelari yang terlibat.

### **C. Teknik Start dalam Sprint**

Kebanyakan teknik-teknik dalam berbagai cabang olahraga telah diteliti dengan menggunakan analisis biomekanika, beberapa diantaranya lebih banyak diteliti dari pada yang dilakukan terhadap teknik start dalam sprint.

Pada saat starter memerintahkan pelari segera dalam posisi siap ( bhs Inggris "on your mark"), maka pelari bergerak ke arah depan dan menempatkan posisinya dengan kedua tangan tepat di belakang garis start, kaki di balok start, dan lutut tungkai belakang menempel di tanah (gb. 3 a). Pada saat aba-aba "awas (set)", pelari mengangkat lutut tungkai belakang untuk lepas dari tanah, dengan demikian menyebabkan panggul terangkat dan titik berat badan berpindah ke arah depan (gb 3 b). Akhirnya, pada saat pistol dibunyikan, pelari mengangkat kedua tangannya dari track, kedua lengan diayun dengan kuat (satu kedepan, satu ke belakang), dan dengan ekstensi yang kuat dari kedua tungkainya mendorong tubuh ke depan menjauhi balok dan menuju langkah lari pertama.

Gambar 3. Contoh teknik yang baik dalam the crouch sprint start

Ada tiga jenis start jongkok (crouch start), yaitu *the bunch* atau *bullet*, *the medium*, dan *the elongated*. Perbedaan yang prinsip dari ketiga teknik ini terletak pada *jarak longitudinal antara kaki* (yaitu jarak antara ujung jari salah satu kaki sampai ujung jari kaki lain, seperti diukur dalam arah lari). Dalam *bunch start*, ujung jari kaki belakang ditempatkan hampir sejajar dengan tumit kaki depan. Jarak dari kedua ujung jari kaki 25 — 30 cm. Dalam *medium starts* lutut tungkai belakang ditempatkan sekitar setengahnya dari kaki depan, yaitu pada saat pelari dalam posisi siap. Jarak dari ujung jari kedua kaki adalah 40 — 55 cm. Teknik *elongated start* yang jarang digunakan, posisi lutut tungkai belakang ditempatkan sejajar atau sedikit di belakang tumit kaki depan, pada saat posisi siap. Jarak dari kedua ujung jari kaki adalah 60 — 70 cm.

Sejumlah riset telah dilakukan untuk meneliti pengaruh dari ketiga teknik start terhadap prestasi lari. Henry, dengan menggunakan grafik hubungan waktu-gaya (force-time graph) dari dorongan tungkai selama start dari 18 pelari yang menggunakan balok start dengan jarak 11, 16, 21, dan 26 in (28, 41, 53, dan 66 cm). Waktu yang digunakan dari bunyi pistol sampai pelari membuat gerak pertamanya dan sampai pelari mencapai tanda 5,10, dan 50 yd (4,6-9,1- dan 45,7 m) dari garis start. Kesimpulannya adalah :

- Dengan menggunakan ukuran 11 in (28 cm) bunch start, menunjukkan waktu yang lebih lambat pada 10 yd dan 50 yd (tabel 15-2) (lebih lambat dari medium start).
- Proporsi terbesar dari waktu terbaik dan proporsi terkecil dari waktu terburuk dihasilkan dari start dengan 16 in (41 cm). Ukuran jarak 21 in (53 cm) menunjukkan basil baik.
- Posisi elongated start dengan jarak 26 in (66 cm) menghasilkan kecepatan terbesar saat meninggalkan balok, tetapi tak mendapatkan keuntungan pada jarak 10 yd (9,1 m) pertama

**Tabel 2.** Karakteristik waktu dan kecepatan crouch start dengan menggunakan jarak (spasi) balok start yang berbeda.

	Jarak Balok			
	11 in (28 cm)	16 in (41 cm)	21 in (53 cm)	26 in (66 cm)
Waktu kontak dg balok (yaitu dari bunyi pistol sampai kaki depan lepas)	0,345 det	0,374 det	0,397 det	0,426 det
Kecepatan Balok (yaitu kecepatan horisontal pada saat pelari lepas dari balok)	6,63 ft/det (2,02 m/det)	7,41 ft/det (2,26 m/det)	7,50 ft/det (2,29 m/det)	7,62 ft/det (2,32 m/det)
Waktu sampai 10 yd (9,1m)	2,070 det	2,054 det	2,041 det	2,049 det
Waktu sampai 50 yd (45,7m)	6,561 det	6,479 det	6,497 det	6,540 det

Sejumlah aspek-aspek lain dari crouch start telah banyak diteliti. Bresnahan melakukan riset tentang gerakan pelari sprint yang terlatih pada saat meninggalkan garis start, dan menemukan urutan dimana pelari dengan right handed sprinter lepas kontak dengan track, yaitu tangan kiri (rata-rata = 0,172 det), tangan kanan (rata-rata = 0,219 det), kaki kanan (rata-rata = 0,286 det), dan kaki kid (rata-rata = 0,443 det).

Payne dan Mader mempelajari gaya yang digunakan terhadap balok, dengan eksperimen lebih dan 150 kali start yang dilakukan oleh 17 orang pelari sprinter dunia. Temuannya adalah sbb :

- Pola gaya-gaya yang muncul merupakan karakteristik dari tiap pelari
- Pada umumnya, kaki belakang dan kaki depan mulai memberikan gaya pada balok pada saat yang bersamaan, jika tidak bersamaan jarang lebih dari 0,01 det.
- Aksi tungkai belakang yang kuat merupakan karakteristik dari teknik start yang lebih baik
- Resultan gaya yang ditimbulkan saat pertama kontak dengan balok berada di depan titik berat badan dan kemudian berpindah ke belakang.

Volkov dan Lapin melaporkan bahwa kecepatan maksimal dalam lari sprint diperoleh pada 4 - 5 det setelah start, sedangkan Mehrikadze dan Tabatschnik menyatakan 5 - 6 det, Henry menyatakan mendekati 6 det setelah bunyi pistol.

Menurut Hill, pelari sprint mencapai kecepatan puncaknya antara 30 yd dan 50 yd (27,4 dan 45,7 m ) dari start. Gundlach menyatakan 30 - 50 m dan Mehrikadze dan Tabatschnik 50 - 70 m. Henry dan Trafton telah memberikan petunjuk jelas bahwa pelari memperoleh kecepatan setelah 13,7 - 18,3 m adalah relatif sedikit. Penelitiannya menguji secara teoretis kurva kecepatan sprint, dan menyatakan bahwa "90 persen dari kecepatan maksimum dicapai pada jarak 15 yd dan 95 persen pada jarak 22 yd (20,1 m).

Meskipun jumlah penelitian-penelitian tersebut dapat dianggap memberikan sumbangan terhadap biomekanika, namun beberapa persoalan masih belum dapat terpecahkan. Misalnya ; apakah hasil-hasil yang diperoleh dari riset yang menggunakan pelari laki-laki juga dapat diberlakukan terhadap pelari wanita, atau perbedaan-perbedaan dalam kekuatan, struktur anatomis dsb, menyebabkan posisi tubuh dan jarak balok optimum untuk pelari wanita berbeda dari yang digunakan untuk laki-laki ? Berapa sudut optimum untuk tiap balok start ? Bagaimana desain balok start yang optimum ? (haruskah permukaannya melengkung atau

datar ?) Haruskah balok itu cukup besar untuk menumpu tumit dan bagian depan kaki ? Apakah seluruh faktor-faktor tersebut mempunyai efek yang kecil terhadap hasil akhir, dimana faktor-faktor tersebut sebelumnya telah dianggap tidak relevan ? Semua persoalan tersebut dan masih banyak lagi persoalan lain menunggu perhatian dari para ahli yang berminat untuk menemukan jawabannya.

#### **D. Lari Sprint**

Keterampilan lari sprint dianggap begitu penting, tidak hanya dalam atletik tetapi juga dalam berbagai cabang olahraga lainnya. Meskipun keberhasilan dalam lari sprint ditentukan oleh kemampuan pelari untuk menggabungkan aksi kedua tungkai, kedua lengan, togok dsb menjadi keseluruhan gerakan yang terkoordinasi, maka untuk tujuan analisis, posisi dan gerak dari tiap bagian tubuh dibahas secara terpisah.

##### **1. Tungkai (leg)**

Aksi kedua tungkai dalam lari membentuk putaran (cyclic). Tiap kaki saling bergantian mendarat di tanah, selalu melewati bagian bawah dan belakang tubuh, kemudian meninggalkan tanah untuk bergerak ke arah depan mempersiapkan pendaratan berikutnya. Siklus ini dapat dibagi menjadi :

- *Supporting phase*, dimulai saat kaki mendarat dan berakhir sampai saat titik berat badan pelari melewati ke arah depannya.
- *Driving phase*, dimulai dari akhir fase pertama dan berakhir pada saat kaki lepas dengan tanah

- *Recovery phase*, yaitu selama kaki lepas dari tanah dan sedang diayunkan ke depan untuk persiapan pendaratan berikutnya.

#### **a. Supporting phase**

Fungsi dari fase ini adalah untuk menahan gerak pelari ke arah bawah - yaitu gerak ke arah bawah yang disebabkan gravitasi selama pelari berada di udara dan memudahkan pelari untuk bergerak menempatkan posisinya untuk mendorong tubuhnya ke arah depan dan atas menuju langkah selanjutnya dengan kehilangan momentum yang minimum. Untuk memastikan bahwa gaya-gaya yang digunakan untuk menurunkan gerak ke arah bawah sampai nol berada dalam batas-batas yang dapat dengan mudah ditoleransi, maka pelari secara naluri menganggapnya bahwa jarak yang dibuatnya adalah besar (hubungan kerja - energi). Oleh karenanya, bila kakinya kontak dengan track, maka fleksi sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki dilakukan untuk meningkatkan perlindungan terhadap tekanan impact Pada saat proses ini terjadi (meskipun kadang-kadang diungkapkan oleh pelatih bahwa hal ini seharusnya tidak terjadi), maka tumit kaki hampir selalu direndahkan mendekati track. Studi yang dilakukan Nett terhadap pelari kelas dunia menunjukkan bahwa : pada nomor lari 100 m dan 200 m, tanah pertama kali kontak dengan bagian luar pinggir jari kaki. ... Dalam nomor lari 400 m, dengan tempo yang lebih lambat, maka titik kontak sedikit lebih jauh ke belakang ke arah tumit; kaki mengenai tanah lebih datar .... Dalam gerak selanjutnya .... bahkan pada kasus pelari sprint . . . . tumit kontak dengan tanah.

Apakah momentum ke arah depan pelari menurun selama fase ini tergantung pada gaya horisontal kaki yang digunakan terhadap tanah, atau lebih tepat lagi adalah gaya yang sama dan berlawanan yang diberikan tanah terhadap kaki selama fase ini.

Besar dan arah gaya horisontal yang diberikan kaki pada saat mendarat ditentukan oleh kecepatan kaki terhadap tanah. Jika kaki bergerak ke arah depan pada saat mengenai tanah, maka kaki akan terus bergerak (Hukum Newton I) dan akan menggunakan gaya horisontal ke arah depan terhadap tanah. Dengan reaksinya, tanah akan menggunakan gaya horisontal ke arah belakang yang akan menghambat gerak pelari ke arah depan. Jika kaki pelari tidak mendorongnya ke arah depan maupun belakang pada saat mengenai tanah, maka reaksi tanah sepenuhnya vertikal dan gerak horisontal pelari tidak ada. Akhirnya, bila kaki pelari bergerak ke arah belakang pada saat mendarat, maka menyebabkan reaksi horisontal ke arah depan dan momentum pelari ke arah depan meningkat.

Agar fungsi kedua fase ini berjalan dengan efektif, maka kaki pelari tidak harus digerakkan ke depan pada saat mendarat. Untuk mencegah hal ini terjadi, maka perlu untuk menguji beberapa faktor yang menentukan kecepatan kaki pada saat mendorong track. Pada saat pelari berada di udara sebelum kakinya menyentuh tanah, titik beratnya bergerak ke depan dengan kecepatan horisontal yang ditentukan pada saat pelari meninggalkan tanah (tahanan udara diabaikan). Bagian tubuhnya yang tidak bergerak ke depan atau belakang dalam hubungannya dengan titik berat badannya, mempunyai kecepatan horisontal yang sama. Bagian tubuh lainnya mempunyai kecepatan horisontal yang lebih besar atau lebih kecil dari pada kecepatan titik berat badannya, tergantung pada arah kemana pelari

bergerak. Oleh sebab itu, misalnya jika titik berat pelari bergerak ke arah depan dengan kecepatan 10 m/det dan salah satu kaki bergerak ke belakang dengan kecepatan horisontal 2 m/det, dan bagian lainya bergerak ke depan dengan kecepatan horisontal yang sama besar, maka kecepatan horisontal kaki sebenarnya berturut-turut adalah 8 m/det dan 12 m/det. Dengan kata lain, kecepatan horisontal dari bagian tubuh sama dengan kecepatan titik berat tubuhnya ditambah dengan kecepatan horisontal bagian tubuhnya.

Oleh karenanya jelas sekali bahwa satu-satunya cara agar pelari dapat memastikan bahwa kakinya tidak bergerak ke arah depan pada saat menyentuh tanah (dan tidak ada hambatan terhadap gaya horisontalnya) adalah dengan menggerakkan kakinya ke belakang dengan kecepatan horisontal paling sedikit sama dengan kecepatan titik berat tubuhnya ke depan. Contoh, jika titik beratnya bergerak ke depan dengan kecepatan 10 m/det, maka kaki harus bergerak ke belakang tidak kurang dari 10 m/det untuk mencapai hasil yang diinginkan.

Meskipun hal ini harus ditekankan bahwa kecepatan horisontal kaki merupakan penentu satu-satunya apakah terjadi efek pengereman atau hambatan saat kaki mendarat, persoalan ini seringkali diamati bahwa efek demikian terjadi bila kakinya berada lebih dari beberapa sentimeter di depan gaps vertikal yang melalui titik beratnya. Deshon dan Nelson menemukan korelasi positif yang signifikan antara (1) sudut tungkai yang dibuat dengan tanah pada saat kaki mendarat ; dan (2) kecepatan lad. Mereka menyimpulkan bahwa, "lad yang efisien ditandai dengan ... penempatan kaki sedekat mungkin di bawah titik berat pelari."

Banyak bukti-bukti yang menyatakan bahwa jika kaki ditempatkan di bawah atau hampir di bawah titik berat pelari,

maka kecepatan ke arah belakangnya masih tidak memadai untuk menurunkan efek hambatan. Lebih jauh lagi, usaha-usaha untuk menurunkan efek hambatan ini dengan melakukan aksi "pawing" (mencakar) secara sengaja saat kaki mengenai tanah, dapat menyebabkan resiko pelari menderita cedera hamstring yang berlarut-larut.

### **b. Driving phase**

Tugas pelari selama fase ini adalah melakukan dorongan ke arah bawah dan belakang terhadap tanah. Dorongan ini, disebabkan oleh ekstensi yang kuat dari sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki, yang menyebabkan tubuh diproyeksikan ke depan dan atas menuju langkah selanjutnya.

Kecepatan pelari saat kakinya meninggalkan tanah (yaitu panjang langkah yang harus dibuat) merupakan fungsi dari usaha (work) yang dilakukan oleh otot-otot ekstensor sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki selama fase ini (hubungan usaha-energi). Karena jarak yang dibuat tiap kelompok otot ini dalam menggunakan gayanya begitu penting untuk menentukan panjang langkah pelari, maka para pakar arm sprint berpendapat bahwa sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki harus benar-benar diluruskan pada saat kaki meninggalkan tanah dalam kecepatan maksimum penuh. Meskipun demikian, masih ada laporan yang menyatakan bahwa pelari sprint elit tidak melakukan ekstensi sendi panggul dan lututnya secara penuh. Mann dan Herman menyatakan bahwa pemegang medali emas Olimpiade 1984 pada 200 m mempunyai sudut panggul dan lutut pada saat takeoff seperti yang diperlihatkan tabel 3 di bawah ini (angka atas adalah untuk langkah pada 125 m, yaitu 10 m menjelang lurus akhir;

dan angka di bawahnya untuk langkah pada 180 m, saat pelari berada dalam pengaruh kelelahan).

**Tabel 3.** Sudut ekstensi panggul dan lutut saat takeoff pada pelari sprint dunia

	Carl Lewis (USA)	Kirk Baptiste (USA)	Thomas Jefferson (USA)
Ekstensi panggul	167	170	167
	167	164	160
Ekstensi lutut	157	156	158
	157	156	156

Mann, and Herman (1985). Kinematic analysis of Olympic sprint performance; Men's 200 meters. *International Journal of Sports Biomechanics*.

Gaya-gaya (kekuatan) tambahan yang digunakan untuk melakukan dorongan terhadap tanah dengan meluruskan (ekstensi) secara penuh sendi panggul dan lutut tidaklah begitu penting dari pada waktu tambahan yang digunakan untuk menciptakan kekuatan tersebut. Singkatnya, adanya peningkatan dalam panjang langkah yang diciptakan oleh gaya tambahan ini bisa melebihi penggantian kerugian yang diakibatkan dari penurunan frekuensi langkah yang menyertainya.

### **c. Recovery phase**

Selama fase recovery, kaki pelari dibawa ke arah depan dari belakang tubuh menuju lokasi dimana selanjutnya kaki akan kontak dengan track.

Segera setelah kaki lepas kontak dengan track, maka paha dari tungkai yang sama memutar ke arah belakang beberapa

derajat dan kemudian berputar ke depan pada poros yang melalui sendi panggul.

Aksi yang disengaja (kemungkinan ditambah dengan reaksi fisiologis yang tidak disengaja terhadap regangan yang dialami otot-otot fleksor tungkai selama driving phase) mengakibatkan tungkai menekuk tajam pada lutut dan kaki yang diangkat mendekati pantat. Sepintas terlihat sebagai gerakan yang tidak perlu dilakukan dan tak ada gunanya, tetapi gerakan kaki yang tinggi ke arah pantat ini diakui sebagai suatu konsekuensi aksi penting lainnya yang tidak dapat dihindarkan. Lagi pula, gerakan ini dapat dianggap benar, karena dapat menurunkan momen inersia dari keseluruhan anggota tubuhnya sampai batas minimum (hubungannya terhadap sumbu transverse yang melalui sendi panggul) dan memungkinkannya untuk diputar ke depan lebih cepat dari pada tidak di bengkokkan.

Bila paha pelari mencapai posisi horisontal atau mendekati horisontal, maka tungkai bawah mengayun ke depan pada suatu poros yang melalui lutut dan anggota tubuh seluruhnya mulai turun mendekati track.

Fenn melakukan riset dan menyatakan bahwa pelari yang baik cenderung untuk mengangkat tinggi lututnya pada saat tungkai yang mengayun didorong ke depan. Deshon dan Nelson menyimpulkan bahwa mengangkat lutut tinggi merupakan salah satu dari sejumlah faktor-faktor yang dimiliki oleh pelari yang efisien. Sinning dan Forsyth menemukan pembentukan sudut yang lebih lancip antara togok dan paha pada waktu kecepatan lari ditingkatkan.

## **2. Lengan (Arms)**

Selama fase-fase yang berbeda dari gerak tungkai pelari, maka panggul diputar berkali-kali sekitar bidang horisontal. Bila lutut kiri diayunkan ke depan dan atas pada fase recovery siklus tungkai kiri, maka panggul (dilihat dari atas) berputar dengan arah jarum jam. Batas dari putaran jarum jam ini dicapai bila lututnya mencapai titik tertinggi di depan tubuhnya. Dan karena kaki kiri direndahkan menuju track dan tungkai kanan mulai bergerak ke depan dan atas, maka panggul mulai berputar dengan arah berlawanan jarum jam. Batas putaran ini dicapai pada saat lutut kanan mencapai titik tertinggi di depan tubuh. Pada tahap ini siklusnya selesai.

Gerak perputaran panggul menyebabkan reaksi yang berlawanan dengan tubuh bagian atas pelari, karena lutut kiri pelari diayun ke depan dan atas, maka lengan kanan diayun ke depan dan atas dan lengan kiri ke belakang dan atas, untuk menyeimbangkan aksi tungkai ini. Kemudian, karena kaki kiri direndahkan dan tungkai kanan mulai bergerak ke depan, maka gerakan lengan terjadi sebaliknya.

Meskipun bahu juga diputar untuk menyeimbangkan aksi panggul, maka putaran demikian perlu dikakukan secara lambat. Oleh karenanya, untuk menghindari komplikasi perlambatan yang muncul, maka pelari yang baik menggunakan gerak lengan yang kuat, dimana tak ada kontribusi yang dibutuhkan dari bahu untuk memperoleh kesamaan antara reaksi gerak panggul dan tubuh bagian atas.

Dalam gerak lengan ini, kedua lengan difleksikan pada sikut kira-kira sebesar sudut siku-siku dan diayun ke belakang, depan, dan sedikit ke arah dalam pada poros yang melalui bahunya. Pada saat mencapai baths ayunan ke depan, tangan berada pada

ketinggian bahu dan pada saat berada pada batas ayunan ke bawah, tangan berada setinggi atau sedikit di belakang panggul.

Gerak lengan yang digunakan pada lari jarak menengah dan jarak jauh telah diteliti oleh Hinrichs, dan hasilnya meingkapi informasi yang berharga tentang fungsi kedua lengan pada saat berlari. Dia mempelajari gerakan lengan dari 10 orang pelari bukan atlet yang berlari di treadmill dengan kecepatan 5,4 m/det, 4,5 m/det, dan 3,8 m/det. Berdasarkan risetnya, maka fungsi kedua lengan adalah

- untuk membuat ... sedikit tetapi kontribusi yang berguna untuk gaya angkat (umumnya kurang dari 10 persen dari totalnya). Karena kecepatan lari semakin lebih cepat dan jumlah total gaya angkat semakin berkurang ruang gerak tubuh vertikal umumnya menurun karena kecepatan lari), maka kedua lengan harus menjadi lebih penting bagi gaya angkat.
- Untuk menciptakan pertukaran momentum anguler yang positif dan negatif pada poros vertikal yang melalui titik berat badan pelari. Hal ini cenderung menghilangkan pertukaran momentum anguler tungkai yang berlawanan. "Togok merupakan anggota tubuh yang aktif dalam menyeimbangkan momentum anguler, dimana togok bagian atas melakukan putaran bolak-balik dengan kedua lengan dan togok bawah dengan kedua tungkai". Akibatnya adalah timbulnya momentum anguler yang kecil di sekitar poros vertikal selama siklus lari.

### **3. Togok (Trunk)**

Selama support dan driving phase, pelari memberikan gaya vertikal dan horisontal terhadap tanah. Reaksi yang sama dan berlawanan yang disebabkan cenderung mempercepat pelari ke arah pelari itu bergerak, jika pelari tidak beraksi melalui titik beratnya, maka mempercepatnya secara anguler. Dengan demikian, pada saat seperti yang diperlihatkan pada gambar 5, pelari dipengaruhi oleh reaksi vertikal  $R_v$ , yang cenderung mempercepatnya ke arah atas dan memutarnya ke depan sekitar

poros transverse ; dan reaksi horisontal  $R_H$ , cenderung memperlambatnya ke arah depan dan memutarinya ke belakang pada poros yang sama. Disamping itu, pelari juga dipengaruhi gaya tahanan udara  $A$ , yang secara umum melawan gerakannya dan cenderung memutarinya ke belakang. Momen (puntiran) itu cenderung memutar pelari ke belakang yang besarnya sama dengan :

$$R_H y_H + A y_A$$

Sedangkan yang cenderung memutarinya dengan arah berlawanan sama dengan

$$R_V x_V$$

**Gambar 5.** Kecondongan optimum togok ditentukan oleh momen gaya eksentrik yang bekerja pada pelari

dimana  $y_H$ ,  $y_A$ , dan  $x_V$  adalah panjang lengan momen. Apa yang terjadi pada pelari, sebagai akibat dari kecenderungan berlawanan yang tergantung pada dua lengan momen yang lebih besar. Kecenderungan togok menjadi diperhitungkan, karena kecenderungan sangat menentukan posisi titik berat tubuh dan oleh karenanya juga menentukan panjang lengan momen. Misalnya, jika pelari pada gambar 5 telah meningkatkan kecenderungan togoknya ke depan, maka titik beratnya akan bergerak ke depan dan bawah, menurunkan  $y_H$  dan meningkatkan  $x_V$  (juga besarnya  $y_A$  meskipun sangat sulit diprediksi)

Dengan mengatur kecondongan togok dan mengubah momen yang terlibat, maka sprinter yang baik mengontrol putaran tubuhnya di sekitar poros transversnya. Bila pelari mendorong ke bawah dan belakang terhadap balok start, maka komponen horisontal *ground reaction force*-nya sangat besar. Oleh karenanya, untuk mencegah efek gaya yang memutar ke belakang menjadi sangat dominan, maka pelari memiringkan tubuhnya ke depan dengan baik, mempertahankan lengan momen reaksi horisontal yang kecil dan lengan momen reaksi vertikal yang besar. Dengan langkah berturut-turut, kecepatan ke depan pelari yang semakin progresif, membuatnya semakin bertambah sulit untuk menggunakan gaya horisontal yang besarnya sama dengan pada waktu permulaan. Maka untuk mencegah kecenderungan reaksi vertikal yang memutar ke depan menjadi dominan dan mungkin menyebabkan lari terhuyunghuyung, pelari secara beraturan mengangkat togoknya sewaktu besarnya gaya horisontal menurun. Pada saat pelari mencapai kecepatan puncaknya, gaya horisontal yang digunakan untuk melawan tanah, telah diturunkan sampai titik dimana efek resultan percepatannya memadai untuk

menyeimbangkan efek tahanan udara yang menghambat. Kecenderungan memutar ke belakang dari kedua gaya ini secara bersamaan diturunkan dan kebutuhan untuk memiringkan togok ke depan secara nyata tidak lagi ada. Akan tetapi, masih ada suatu kebutuhan untuk melawan kecenderungan tahanan udara dan reaksi horisontal kecil yang memutar ke belakang. Jika hal ini tidak dilakukan, maka tubuh pelari akhirnya akan berputar ke arah posisi dimana pelari tak dapat menerapkan gaya horisontalnya terhadap tanah, yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan puncak. Dalam keadaan demikian, dapat kita amati pada tahap akhir perlombaan nomor 400 m, pelari kehilangan kecepatan sampai batas tertentu dan pelari nampaknya dalam keadaan yang sulit. Untuk alasan ini, kebanyakan pelari yang baik mempertahankan kemiringan togoknya sedikit ke depan bahkan ketika berlari dengan kecepatan puncak.

#### **4. Kepala**

Berdasarkan beratnya (hampir empat persepuluh dari masa total tubuh pada orang dewasa) dan letaknya di tulang belakang, maka gerakan kepala mempunyai pengaruh terhadap bagian tubuh lainnya. Oleh karenanya, ada ungkapan "*the head is the rudder of the body*" (kepala itu merupakan kemudi tubuh). Untuk keseimbangan pelari yang lebih baik, maka kepala harus dipertahankan dalam posisi alamiah dengan bahu, dengan mata diarahkan ke depan. Meskipun demikian, putaran kepala (yaitu pada bidang transverse) tidak perlu mengganggu keseimbangan dan bahkan dipertahankan dalam lari jarak menengah dan jauh. Pengaruh posisi kepala yang kurang baik sering diarahkan ke Ujung perlombaan, yaitu bila pelari dalam keadaan lelah;

menempatkan leher ke belakang akan meluruskan togok dan memperpendek langkah.