

Modul 3

Karakteristik Performa Atlet pada Uji Lari Sprint

3.1 Tujuan

- Memahami fenomena gaya gesek orde-2 (u dan u^2) pada kegiatan lari sprint.
- Mengembangkan pendekatan model fisika dan matematika terhadap data eksperimen uji lari sprint.
- Terutama untuk mencari analisis kecepatan, akselerasi, gaya gesek, energi kinetik dan daya ledak otot yang dimiliki oleh pelari.
- Selain itu, untuk memberikan rekomendasi perbaikan dan optimasi kecepatan, akselerasi dan daya ledak sehingga pelari dapat mencapai prestasi maksimalnya.

3.2 Teori Dasar

Gaya-gaya penting yang bekerja selama lari sprint adalah gaya horizontal yang diberikan atlet dan gaya gesek yang bergantung pada kecepatan horizontal (kecepatan). Faktor-faktor lain yang mempengaruhi mekanisme geraknya adalah kelembaban, ketinggian di atas permukaan laut (36 m), asupan oksigen dan gerakan putaran kepala atlet untuk menonton pelari lain, tidak diperhitungkan. Gaya gesek, $D(u)$, adalah fungsi dari kecepatan horizontal atlet $u(t)$ akibat gesekan antara kaki pelari terhadap tanah, dengan atau tanpa angin. Gaya gesek ini menyebabkan pengurangan akselerasinya, sehingga kecepatan atlet cenderung konstan (kecepatan terminal). Dengan demikian, persamaan gerak adalah

$$m\dot{u} = F_0 - D(u) \quad (1)$$

Persamaan ini dapat dengan mudah diselesaikan sebagai persamaan quadrature,

$$t - t_0 = \int_{t_0}^t \frac{du'}{F_0 - D(u')} \quad (2)$$

Integral di atas tidak memiliki solusi analitik untuk fungsi gesek secara umum; Namun, gaya gesek dapat diperluas dalam bentuk deret Taylor,

$$D(u) \simeq D(0) + \left. \frac{dD(u)}{du} \right|_0 u + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2D(u)}{du^2} \right|_0 u^2 + O(u^3) \quad (3)$$

Nilai konstan dari ekspansi $D(0)$ adalah nol, karena pelari tidak mengalami hambatan saat diam, sedangkan nilai ekspansi kedua dan ketiga harus dipertahankan. Sementara itu nilai proporsional terhadap kecepatan mewakili efek dasar dari resistensi gesekan kaki dengan tanah, nilai proporsional dengan kuadrat kecepatan memperhitungkan hambatan

hidrodinamik karena geometri permukaan tubuh pelari yang tidak seragam. Secara umum, untuk kecepatan yang relatif kecil itu sudah cukup untuk mengambil hanya tiga nilai ekspansi pertama .

Memperhatikan pendekatan koefisien u dan u^2 sebagai γ dan σ , maka persamaan gerak (1) dapat memiliki bentuk berikut ini:

$$m\dot{u} = F_0 - \gamma u - \sigma u^2 \quad (4)$$

dimana solusi langsung dari persamaan (4) diatas adalah ,

$$u(t) = \frac{AB(1 - e^{-kt})}{A + Be^{-kt}} \quad (5)$$

dimana koefisien tersebut dihubungkan oleh $\sigma = km/(A+B)$, $F_0 = kmAB/(2A+2B)$ and $\gamma = km(A-B)/(A+B)$.

Posisi pelari dapat dicari dengan mengintegalkan persamaan (5) di atas, sehingga:

$$x(t) = \frac{A}{k} \ln\left(\frac{A + Be^{-kt}}{A+B}\right) + \frac{B}{k} \ln\left(\frac{Ae^{kt} + B}{A+B}\right) \quad (6)$$

sedangkan akselerasi (percepatan) dapat pula dihitung dengan menurunkan persamaan (5) di atas,

$$a(t) = ABk(A+B) \frac{e^{-kt}}{(A + Be^{-kt})^2} \quad (7)$$

Parameter A (m/s), B (m/s) dan k (1/m) dicari menggunakan analisis kuadrat-terkecil melalui Origin 8.1 atau microsoft Excel berdasarkan data posisi dan kecepatan, dengan mempertimbangkan waktu reaksi sebesar 0,142 s [6], dan menggunakannya menghitung nilai besarnya gaya konstan, F_0 , dan koefisien drag, dan σ , dengan mempertimbangkan massa atlet (kg).

Setiap sistem mekanik yang mengalami hambatan gesek, maka pelari akan mencapai kecepatan terminal u_T yang secara matematik didapatkan ketika $\dot{u}=0$ pada persamaan (1). Sehingga, persamaan di bawah dapat diselesaikan

$$F_0 = D(u_T) = -\gamma u_T - \sigma u_T^2 \quad (8)$$

untuk u_T . Selain itu, solusi persamaan untuk kecepatan terminal dapat pula ditemukan ketika $t \rightarrow \infty$ pada persamaan (5), dan didapatkan bahwa $u_T = B$. Selain itu, nilai gaya konstan, F_0 , konsisten dengan salah satu fakta bahwa gaya konstan (horisontal) maksimum diperkirakan sama dengan berat atlet ($w = mg$). Kemudian, $\sigma = 0.5\rho C_d S_A$ merepresentasikan gaya gesek hidrodinamika, dimana ρ adalah densitas udara, C_d koefisien gesek pelari dan S_A adalah penampang melintang atlet (diperkirakan

$S_A=0.8m^2$). Nilai koefisien gesek C_d hasil penelitian untuk manusia berkisar pada rentang 1.0 hingga 1.3.

Kekuatan (daya) sesaat yang diberikan oleh pelari sprint, mengingat efek hambatan gesek, menjadi

$$P(t)=F u=m \dot{u} u=m A^2 B^2 k(A+B) \frac{(1-e^{-k t}) e^{-k t}}{(A+B e^{-k t})^3} \quad (9)$$

Fakta bahwa kekuatan sesaat maksimum muncul dalam waktu sesingkat itu menunjukkan pengaruh yang cepat dari syarat-syarat hambatan dalam dinamika pelari. Kerja yang efektif (mempertimbangkan efek dari gaya hambat gesek) adalah

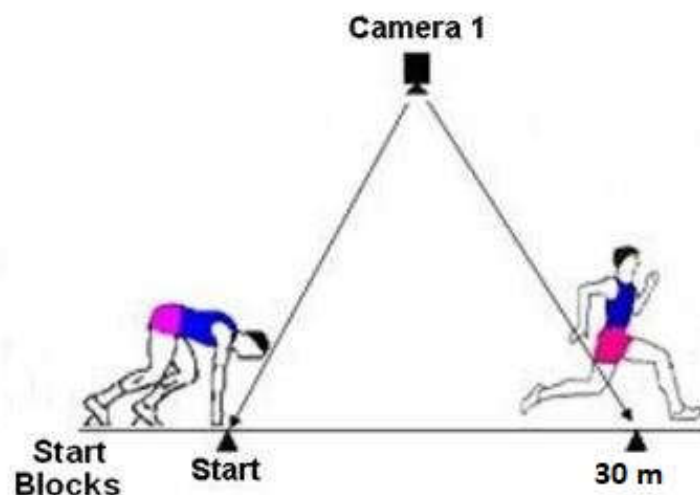
$$W_{eff}=\int_0^{\tau} P(t) dt=\int_0^{\tau} \frac{1}{2} m d u^2=\frac{1}{2} m u^2(\tau) \quad (10)$$

di mana τ adalah waktu berjalan (waktu resmi sprint dikurangi waktu reaksi pelari).

3.3 Tahapan – Tahapan Percobaan

Alat dan Bahan

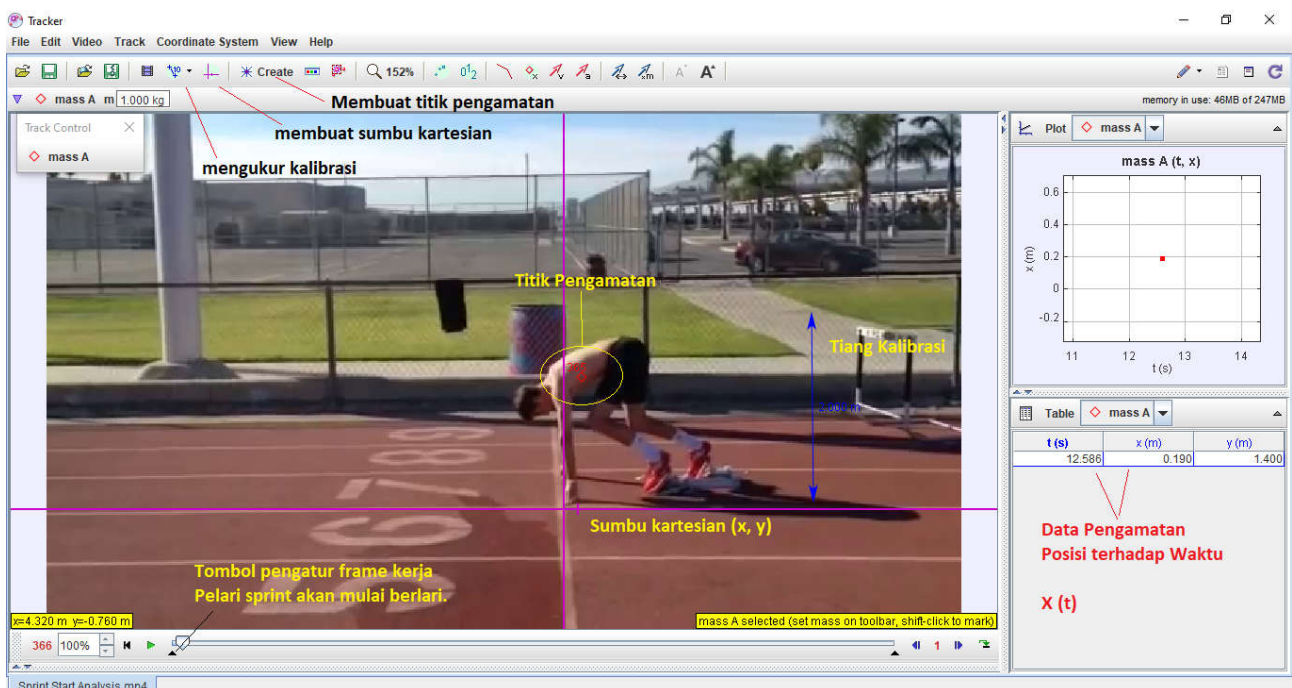
- Mahasiswa bertindak sebagai pelari sprint.
- Kamera Digital dan Tripod untuk merekam lari sprint.
- Meteran (minimal 30 m) sebagai pengukur jarak.
- Tiang kalibrasi setinggi 1-2 m.
- Timbangan berat badan.
- Laptop
- Software Tracker 5.11 sebagai perangkat pengolah dan analisis posisi pelari .
- Software Microsoft Excel sebagai pengolah dan analisis data posisi.
- Setiap mahasiswa membawa air minum minimal 1 liter dan cemilan-cemilan lainnya.



Gambar 1. Penempatan kamera dan lintasan lari sprint.

Rangkaian Kamera dan Metode Pengamatan

- Lintasan lari sprint yang digunakan sepanjang 30 m.
- Kamera ditempatkan untuk mengamati dan merekam lari sprint dari penampang melintang samping kanan atau kiri.
- Pastikan kamera tetap statis selama pengamatan lari sprint, harus menggunakan Tripod.
- Tempatkan tiang kalibrasi sejajar dengan lintasan lari sprint dan harus masuk dalam rekaman video.
- Rekam lari sprint setiap mahasiswa (kelompok) yang ikut kegiatan eksperimen dan simpan videonya untuk diolah menggunakan software Tracker 5.13.



Gambar 2. Panel software Tracker 5.13 untuk pengamatan gerak pelari sprint.

Tahapan pengolahan video menjadi data posisi

- Pertama, unggah video lari sprint dengan mengklik Open File.
- Klik sumbu kartesian dan tempatkan titik asal di titik awal pelari sprint (umumnya tangan), pastikan sumbu-x di arah horisontal dan sumbu-y di arah vertikal.
- Klik titik kalibrasi untuk mengukur dan menetapkan ukuran tiang kalibrasi (1-2 m).
- Klik titik pengamatan untuk membuat titik massa untuk pengamatan posisi pelari terhadap waktu.
- Kemudian amati frame ketika pelari sprint akan mulai bergerak, atur titik hitam (tombol pengatur frame kerja) sehingga tepat di frame tersebut.
- Lakukan pengambilan data posisi pelari sprint terhadap waktu dengan cara mengklik titik pengamatan (tekan shift lalu klik posisi pelari) terus menerus hingga pelari

mencapai finish, dapat pula pengambilan data pelari secara otomatis dengan menekan ctrl+shift lalu klik di titik pengamatan.

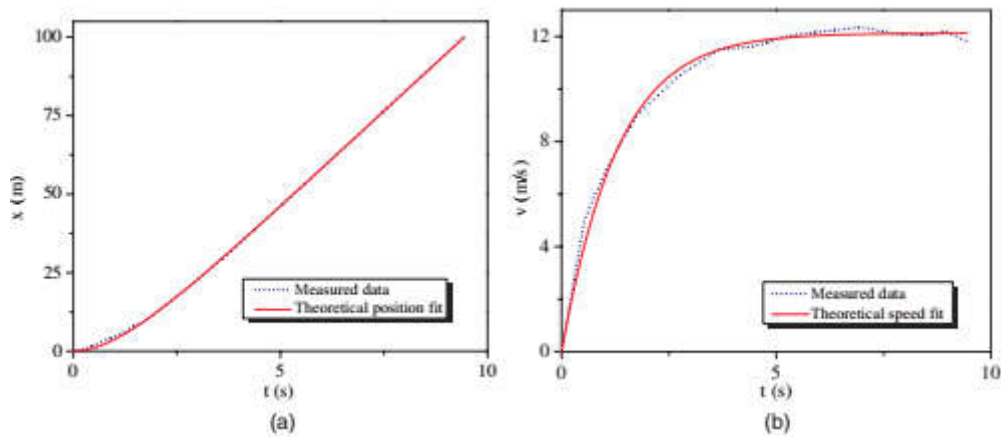
- Data posisi pelari sprint terhadap waktu berada pada kolom kanan bawah, Lihat Gambar 2. Data dapat di simpan dalam bentuk CSV atau copy-paste ke pengolah data seperti Excel atau Origin.
- Semua pengambilan data hanya dilakukan untuk data perubahan posisi horisontal terhadap waktu, $X(t)$.
- Lakukan pengolahan data untuk semua video pelari sprint yang dimiliki oleh kelompok.

Tahapan Pembuatan Kurva dan Analisis Data

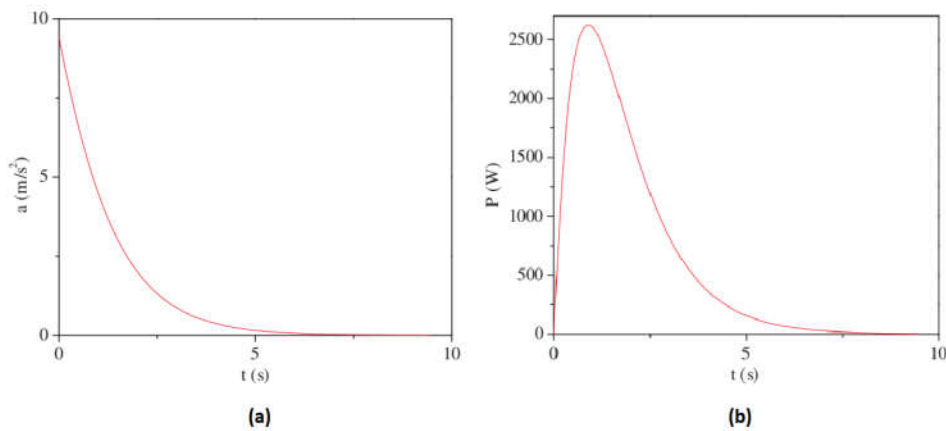
- Masukkan data ke pengolah komersial seperti Excel atau LibreOffice Calc dengan kolom pertama dan kedua untuk waktu dan posisi x .
- Kemudian, untuk kolom ketiga dan ke-empat adalah kecepatan dan akselerasi arah x , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$v_{xi} = \frac{dx}{dt} = \frac{(x_i - x_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})} \quad \text{dan} \quad a_{xi} = \frac{dv}{dt} = \frac{(v_i - v_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})}$$

- Analisis numerik data posisi, kecepatan dan akselerasi pelari terhadap waktu dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (6), (5) dan (7) dengan terlebih dahulu menetapkan konstanta A , B dan k secara sembarang.
- Lakukan perhitungan numerik posisi, kecepatan dan akselerasi pelari sprint kemudian membandingkan hasil perhitungan numerik dengan data pengamatan langsung.
- Kemudian ubah-ubah nilai konstanta A , B dan k sedemikian sehingga hasil perhitungan numerik dan pengamatan langsung memiliki pola yang sama, dan nilai error yang kecil.
- Buatlah kurva posisi x , kecepatan dan akselerasi terhadap waktu baik untuk data pengamatan dan perhitungan numerik.
- Dengan memperhatikan data pengamatan dan perhitungan numerik, lakukan estimasi nilai kecepatan terminal dari pelari sprint ($u_T \approx B$) dan kemudian hitung konstanta γ , σ dan F_0 !
- Untuk menghitung kekuatan sesaat (daya ledak otot) dapat menggunakan persamaan (9) atau dengan mengkalikan kolom ketiga, ke-empat dan massa pelari sprint (m).
- Hitunglah kerja (usaha) efektif yang dilakukan oleh pelari sprint dengan menggunakan persamaan (10).
- Lakukan pengolahan dan analisis tersebut untuk semua video pengamatan lari sprint yang dimiliki kelompokmu.



Gambar 3. Contoh kurva posisi dan kecepatan pada lari Sprint 100m (Usain Bolt 2009), disertai hasil simulasi model fisisnya.



Gambar 4. Contoh kurva percepatan dan daya pada lari Sprint 100m (Usain Bolt 2009).

3.4 Tugas Pendahuluan

- Turunkan persamaan (5), (6) dan (7)!
- Bagaimana solusi persamaan (4) jika persamaan gesek hanya orde-1, dan/atau jika tanpa gaya gesek!
- Jelaskan secara singkat bagaimana kerja otot sehingga dapat menghasilkan gaya tarik yang kuat.
- Jelaskan prinsip fisika pada gerakan tungkai kaki atau tangan, ada prinsip tuas (momen gaya).

3.5 Tugas Akhir

- Buatlah masing-masing (kelompokan) kurva posisi, kecepatan, akselerasi dan daya dari seluruh pelari sprint.
- Buatlah kurva dan analisis deskriptif (rata-rata, median, modus dan varian) data posisi, kecepatan, akselerasi dan daya pelari sprint.

- Kemudian, lakukan analisis potensi kelemahan dan kekuatan performa pelari sprint berdasarkan kurva dan analisis deskriptif tersebut.
- Buatlah beberapa kajian strategi untuk memperbaiki kualitas performa pelari sprint, sehingga meningkatkan potensi prestasi pelari sprint.

Referensi

J. J. Hernandez Gomez, V. Marquina and R. W. Gomez, On the performance of Usain Bolt in the 100 m sprint, *European Journal of Physics* 34 (2013) 1227–1233