

ANALISIS KELAJUAN GERAK PELARI 100 METER PADA KASUS PEMECAHAN REKOR DUNIA TAHUN 2008 DAN 2009

Oleh : Sardjito

(Staf Pengajar Politeknik Negeri Bandung)

Abstrak

Usain Bolt merupakan pelari tercepat dunia untuk jarak 100 meter pada tahun 2008 dan 2009. Gerak larinya dianalisis dengan menggunakan model kelajuannya terhadap waktu secara kinematika maupun secara dinamika. Secara kinematika, kelajuan rerata dihitung sebagai jarak tempuh tertentu dibagi dengan waktu tempuhnya. Sedang secara dinamika, nilai kelajuan sebagai fungsi dari waktu dihitung dengan didasarkan pada persamaan gerak yang melibatkan gaya yang dilakukan atlet serta gaya hambat yang berpengaruh pada kelajuan geraknya. Dari model dinamika ini dapat ditentukan pula secara teoritis, posisi atlet setiap saat sejak awal hingga akhir perlombaan. Dengan pencocokan menggunakan Metoda Kuadrat Terkecil terhadap data posisi terhadap waktu, maka parameter model ini dapat ditentukan, sehingga nilai kelajuan setiap saatpun dapat ditentukan.

Perbandingan distribusi kelajuan Usain Bolt pada rekor yang dicapai tahun 2008 dengan rekor yang dicapai tahun 2009 menunjukkan adanya pengaruh luar yang berbeda. Setelah dilakukan analisis menggunakan koreksi kelajuan dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang bertiup searah gerak lari sangat signifikan kontribusinya terhadap rekor yang dicapai.

Kata kunci : kelajuan, lari 100 meter, kecepatan angin, kinematika, dinamika

Pendahuluan

Pada Lomba Atletik Olimpiade Beijing tahun 2009, atlet Jamaika-Usain Bolt berhasil memecahkan rekor dunia lari 100 meter putra dengan mencatat waktu 9,69 detik. Setahun kemudian, atlet yang sama, dalam Kejuaraan Atletik Dunia di Berlin, kembali memecahkan rekor tersebut dengan mencatat waktu 9,58 detik untuk jarak lari 100 meter. Tenggat waktu satu tahun bagi pemecahan rekor semacam ini merupakan hal yang jarang terjadi. Dalam makalah ini akan dianalisis tinjauan

kinematika dan dinamika dari gerak pusat massa atlet yang bersangkutan dengan menggunakan data posisi, kelajuan, serta waktu yang diukur secara resmi oleh Badan Atletik Dunia (IAAF).

Model kinematika kelajuan terhadap waktu

Secara kinematika kelajuan rerata dapat didefinisikan sebagai jarak tempuh tiap satuan waktu. Secara matematis, definisi tersebut dapat ditulis sebagai :

$$v = \Delta x / \Delta t$$

(1)

dengan x adalah posisi, jadi Δx adalah perubahan posisi, dan untuk gerak lurus Δx ini sama dengan jarak tempuh; Δt adalah selang waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak Δx .

Data resmi yang dikeluarkan oleh Badan Atletik Dunia (IAAF)⁽¹⁾ pada Olimpiade di Beijing tahun 2008 dan Kejuaraan Atletik Dunia di Berlin tahun 2009 memunculkan tabel antara posisi (setiap selang 10 meter) terhadap waktu tempuh (tabel 1). Dari tabel ini dan dengan menggunakan persamaan (1), dapat dihitung kelajuan rerata tiap selang jarak 10 meter. Hasilnya diperlihatkan pada tabel 2 dan gambar 1.

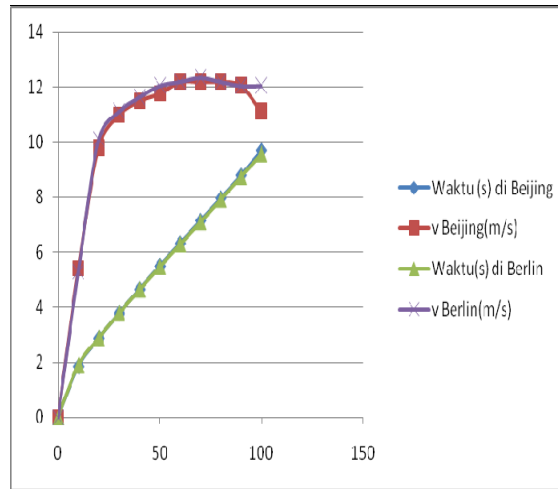
Tabel 1 : Waktu tempuh pada berbagai posisi Usain Bolt saat lomba lari 100 m⁽¹⁾

Jarak (m)	Waktu (s) di Beijing	Waktu(s) di Berlin
10	1,85	1,89
20	2,87	2,88
30	3,78	3,78
40	4,65	4,64
50	5,50	5,47
60	6,32	6,29
70	7,14	7,10
80	7,96	7,92
90	8,79	8,75
100	9,69	9,58

Tabel 2 : Kelajuan rerata (v) Usain Bolt pada posisi setiap 10m dalam lomba lari 100 m

Jarak (m)	Waktu (s) di Beijing	v Beijing(m/s)	Waktu(s) di Berlin	v Berlin(m/s)
0	0	0	0	0
10	1,85	5,405405405	1,89	5,291005291
20	2,87	9,803921569	2,88	10,10101010
30	3,78	10,98901099	3,78	11,11111111
40	4,65	11,49425287	4,64	11,62790698
50	5,50	11,76470588	5,47	12,04819277
60	6,32	12,19512195	6,29	12,19512195
70	7,14	12,19512195	7,10	12,34567901
80	7,96	12,19512195	7,92	12,19512195
90	8,79	12,04819277	8,75	12,04819277
100	9,69	11,11111111	9,58	12,04819277

Gambar 1 : Grafik antara waktu tempuh dan kelajuan rerata terhadap posisi



Dari tabel-tabel dan grafik tersebut tampak bahwa terjadi percepatan positif, atau peningkatan kelajuan sejak awal hingga jarak 60 meter. Jarak ini terlampau jauh bagi proses percepatan gerak atlet dan tentu tidak sesuai dengan kenyataan. Atlet *sprinter* kelas dunia umumnya dapat melakukan percepatan hingga mencapai kelajuan maksimum pada jarak 30 sampai 40 meter dihitung sejak *start* ^(2,3). Hal ini dapat difahami karena sesungguhnya untuk menempuh jarak lomba dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, ia harus mencapai kelajuan maksimum sesegera mungkin. Jadi dapat disimpulkan bahwa nilai kelajuan pada setiap posisi (atau sering juga disebut kelajuan sesaat) tak dapat dihitung dengan cara menghitung kelajuan rerata pada masing-masing posisi. Karenanya perlu dicari model lain dari kelajuan terhadap waktu yang tidak sesederhana persamaan (1).

Model dinamika kelajuan terhadap waktu

Untuk dapat memenangkan perlombaan lari 100 meter serta menempuh waktu yang sekecil-kecilnya, maka seorang atlet tidak cukup hanya

dituntut untuk lari secepat-cepatnya. Hal ini berkaitan dengan kenyataan bahwa atlet harus mulai berlari dari kelajuan nol, melakukan percepatan hingga mencapai kelajuan maksimum dalam waktu yang sesingkat-singkatnya, serta mempertahankan kelajuan maksimum selama mungkin. Selain itu juga harus dipertimbangkan bahwa tubuh manusia memiliki keterbatasan metabolisme sehingga memungkinkan terjadinya kelelahan. Untuk itu diperlukan strategi yang sebaik-baiknya dalam distribusi kelajuan lari untuk memperoleh waktu minimum saat menempuh jarak tertentu yang dilombakan. Kelajuan yang dihasilkan (v) pada waktu tertentu (t) harus memenuhi persamaan gerak :

$$m \left(\frac{dv}{dt} \right) = f - G \quad (2)$$

dengan m menyatakan massa tubuh, F menyatakan gaya gerak yang dilakukan atlet, dan G menyatakan gaya gesekan atau hambatan yang dialami atlet. Besar gaya yang dilakukan atlet (F) bernilai hampir konstan untuk jarak yang pendek, namun berkurang untuk jarak yang agak panjang karena timbulnya kelelahan ($f = F - \beta t$, dengan F

adalah gaya pada jarak pendek yang bernilai konstan, sedang β merupakan konstanta^(2,3).

Besar gaya gesekan udara terhadap tubuh manusia yang bergerak berbanding lurus dengan kelajuan gerak untuk kelajuan yang tidak terlalu besar ($G = \alpha v$)⁽⁴⁾, dan berbanding lurus dengan kuadrat kelajuan untuk kelajuan yang cukup besar dan berakibat aliran tak laminar ($G = \alpha v^2$)⁽⁵⁾. Untuk kondisi yang terakhir, solusi persamaan (2) akan memiliki bentuk :

$$v(t) = (F/\alpha + m\beta/\alpha^2)(1 - e^{-\alpha t/m}) - (\beta t/\alpha) \quad (3)$$

atau

$$v(t) = a(1 - e^{-ct}) - (bt) \quad (4)$$

dengan $a = F/\alpha + m\beta/\alpha^2$, $b = \beta/\alpha$, dan $c = \alpha/m$

Jelaslah bahwa nilai parameter a , b dan c , bergantung pada individu serta kondisi fisis lomba yang bersangkutan.

Tabel 4 : Kelajuan sesaat Usain Bolt setiap 10 m dalam lomba lari 100 m,

Jarak(m)	Waktu-Beijing(s)	v-Beijing(m/s)	Waktu-Berlin(s)	v-Berlin(m/s)
0	0	0	0	0
10	1,85	9,569648574	1,96	10,44444444
20	2,87	11,04979304	2,94	11,55555556
30	3,78	11,60801814	3,80	12,11111111
40	4,65	11,82974467	4,58	12,22222222
50	5,50	11,90252037	5,31	12,22222222
60	6,32	11,90524449	6,00	12,22222222
70	7,14	11,87429540	6,69	12,22222222
80	7,96	11,82607197	7,30	12,22222222
90	8,79	11,76825653	7,94	12,22222222
100	9,69	11,70042192	8,58	12,22222222

Dengan melakukan integral terhadap persamaan (4), akan diperoleh posisi atlet setiap saat sebagai :

$$x(t) = (at) - (bt^2/2) - [a(1 - e^{-ct})/c] \quad (5)$$

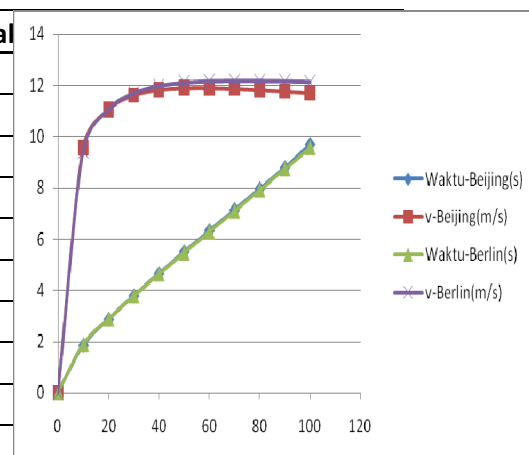
Besaran-besaran kinematika yang diukur (kelajuan, posisi, jarak tempuh) didasarkan togok atau torso tubuhnya, karena posisi inilah yang diukur secara resmi oleh Badan Atletik Dunia (IAAF).

Dengan menggunakan Metoda Kuadrat Terkecil melalui pencocokan persamaan (4) dengan data empiris untuk atlet Usain Bolt (tabel 4), dapat diperoleh nilai parameter a , b , dan c (tabel 3).

Tabel 3 : Nilai parameter a, b, c dari Usain Bolt

Parameter	Satuan	Beijing2008	Berlin 2009
a	m/s	12,49	12,43
b	m/s ²	0,081	0,032
c	1/s	0,814	0,783

Gambar 2 : Grafik antara kelajuan sesaat(v) dan waktu tempuh terhadap jarak



Tabel 4 dan gambar 2 memperlihatkan bahwa percepatan positif (peningkatan kelajuan) terjadi hanya pada jarak 0 hingga 30 meter. Jadi model

ini lebih sesuai dengan kenyataan empiris. Dari grafik terlihat pula bahwa waktu tempuh yang lebih baik (di Berlin) terjadi karena atlet mampu mempertahankan kelajuan maksimumnya dalam waktu yang lebih lama.

Kontribusi kecepatan angin searah gerak lari

Dari segi Peraturan Lomba, Beijing dan Berlin tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun kenyataan menunjukkan bahwa pada saat lomba di Beijing tahun 2009, kecepatan angin searah gerak lari terukur 0 m/s, sedang di Berlin terukur 0,9 m/s. Seperti telah disebutkan, keduanya masih berada dalam batas nilai kecepatan angin yang diperbolehkan (maksimum 2,0 m/s); namun analisis berikut akan menunjukkan bahwa antara keduanya terdapat perbedaan kontribusi terhadap waktu tempuh yang cukup berarti.

Pengaruh kecepatan angin terhadap kecepatan gerak manusia, khususnya saat berlari *sprint* cukup signifikan, yakni pada pengurangan atau penambahan *drag* aerodinamika. Dengan berubahnya *drag* yang dialami atlet, tentu saja gaya atau energi yang dilakukan oleh atlet akan berubah pula.

Untuk memperoleh hubungan antara kecepatan angin dengan waktu tempuh, pembahasan dilakukan menggunakan tinjauan energi yang dikeluarkan oleh atlet pada saat ia berlari menempuh jarak lomba tertentu dengan waktu yang sesingkat-singkatnya. Untuk mencapai waktu minimum, sesuai dengan pengertian bahwa daya didefinisikan sebagai besarnya usaha tiap satuan waktu, maka atlet harus mengeluarkan daya yang sebesar-besarnya (maksimum). Anggaplah bahwa dengan daya maksimum tersebut, ia dapat menempuh jarak sejauh x dalam waktu sebesar T_0 jika udara tenang atau tak ada angin. Dan bila ada angin yang bertiup searah gerak larinya,

asumsikanlah bahwa dengan daya yang sama untuk menempuh jarak x yang sama, ia perlu waktu sebesar T ; yang tentu saja dengan konsekuensi bahwa nilai T lebih kecil daripada T_0 .

Analisis yang dilakukan oleh Sardjito^(6,7)

menunjukkan bahwa selisih antara T_0 dengan T besarnya adalah :

$$\Delta T = T_0 - T = (v_a T / x) (1 - v_a T / 2x) [\{ K T / (\rho C_d A x^2) \} + 3 / 2T]^{-1} \quad (6)$$

v_a adalah besar kecepatan angin , x adalah jarak tempuh atlet, sedang K , ρ , C_d dan A adalah parameter-parameter yang bergantung pada ukuran tubuh atlet, serta kondisi tempat perlombaan.

Dengan menggunakan hasil penelitian empirik yang dilakukan oleh Ward Smith⁽⁸⁾ bagi parameter-parameter tersebut di atas, maka diperoleh bahwa untuk waktu tempuh atlet pelari 100 meter kelas dunia pada saat ini, dengan kecepatan angin dari belakang sebesar 1,0 m/s akan diperoleh keuntungan selisih waktu tempuh sebesar 0,1300 sekon, dan untuk kecepatan angin sebesar 2,0 m/s dari belakang diperoleh selisih waktu sebesar 0,2462 sekon. Hasil perhitungan selengkapnya bagi selisih waktu tersebut diperlihatkan pada tabel 5.

Secara teoritis dengan menggunakan persamaan (6), dapat dihitung selisih waktu yang diperoleh atlet karena bantuan angin berkecepatan 0,9 m/s searah geraknya untuk jarak 100 m ini adalah sebesar 0,1152 sekon. Hasil perhitungan ini cukup mendekati kenyataan bahwa terdapat perbedaan waktu sebesar 0,11 sekon antara waktu tempuh di Berlin dengan di Beijing. Dengan demikian, dapat dimengerti bahwa Usain Bolt mampu mempertahankan kelajuan maksimumnya lebih lama saat di Berlin karena memperoleh

bantuan dorongan angin dari arah belakang. Hal inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya kembali pemecahan rekor dalam tengat waktu yang singkat, yakni satu tahun.

Tabel 5 : Koreksi waktu tempuh (ΔT) bagi berbagai waktu tempuh dan kecepatan angin untuk lomba lari 100 meter putra ^(6,7)

Waktu tempuh $T (s)$	Kec.angin $V_a (m/s)$	Koreksi $\Delta T (s)$		Waktu tempuh $T (s)$	Kec.angin $V_a (m/s)$	Koreksi $\Delta T (s)$
10,00	0,5	0,0667		9,50	0,5	0,0653
	1,0	0,1300			1,0	0,1275
	1,5	0,1898			1,5	0,1864
	2,0	0,2462			2,0	0,2422

Kesimpulan

Model dinamika bagi kelajuan sebagai fungsi waktu yang didasarkan terhadap persamaan gaya dan gerak lebih tepat menggambarkan distribusi kelajuan selama lomba lari 100 meter dibandingkan dengan model kinematika yang didasarkan terhadap perhitungan kelajuan rerata. Prestasi atlet dalam lomba lari 100 meter sangat ditentukan oleh kemampuannya untuk mempertahankan kelajuan maksimum yang dicapai. Kemampuan ini berkaitan erat dengan adanya bantuan dari luar berupa dorongan angin searah gerak lari.

Pustaka acuan

1. www.iaaf.org, 1 November 2009
2. Tibshirani R., 1997, "Who is the fastest man in the world", *Am.Stat.*, **51**, 106-111.
3. Helene O, Yamashita M.T., 2009, "The force, power and energy of the 100 m sprint", *xxx.lanl.gov. arXiv:0911.1952v1 {physics.pop.ph}*, 1-9
4. Keller J.B., 1973, "Theory of competitive running", *Phys.Today*, **26(9)**, 43.
5. Wagner R., 1998, "The 100 meter dash : Theory and experiment", *Phys.Teach*, **36**, 144-146
6. Sardjito, 1998, Kontribusi kecepatan angin terhadap perubahan kecepatan lari sprint, *Simposium Fisika Nasional VII*, Yogyakarta.
7. Sardjito, 1999, Pengurangan waktu tempuh lari 100 meter karena adanya bantuan angin, *Jurnal HFI* **2(3)**.
8. Ward Smith A.J., 1985, A mathematical theory of running and its application to the performance of world class athletes, *Journal of biomechanics*, **18**, pp. 337-349