

FISIKA DALAM ATLETIK DAN BELADIRI

Sri Jumini^a

^aStaff pengajar Fakultas Ilmu Tarbiyah & Keguruan (FITK)
Universitas Sains AlQuran (UNSIQ) Jawa Tengah di Wonosobo
Jln. Kalibeer Raya, Km. 03 Wonosobo

^aEmail: umyfadhil@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima : 30 Maret 2016

Disetujui : 26 April 2016

Kata Kunci:

Pusat Gravitasi, Momentum,
Torsi dan Keseimbangan
Tubuh

ABSTRAK

Seorang olahragawan harus memperhatikan keadaan fisik dan teknik yang harus dikuasai sehingga tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan dalam melakukan aktivitasnya. Keadaan fisik meliputi kesehatan dan postur tubuh, sedangkan teknik meliputi teknik olah raga yang harus dikuasai, keseimbangan tubuh, penentuan pusat gravitasi, momentum, dan torsi. Teknik dalam olah raga ini banyak sekali dibahas dalam fisika. Seorang olahragawan lompat tinggi dan lompat jauh akan sangat baik dalam aktivitas olah raganya, jika mengetahui pusat gravitasinya dengan baik. Manusia memerlukan keseimbangan agar segala aktivitas yang dilakukannya berjalan baik, sehingga tidak ada bagian tubuh yang cidera. Keseimbangan terjadi jika jumlah semua gaya dan jumlah semua torsi yang bekerja padanya sama dengan nol, $\sum F = 0, \sum \tau = 0$. Sedangkan momentum banyak dilakukan dalam olah raga karate, tinju, dan lempar peluru. Dalam karate untuk memindahkan momentum yang besar sering berkaitan dengan kecepatan gerak dari lengan daripada gerakan seluruh badan. Pada pukulan ke depan, terjadi tumbukan ketika panjang jangkauan tangan sekitar 70%. Sedangkan dalam lempar peluru terjadi pemindahan bentuk kecepatan lambat dari gerak massa seluruh tubuh menjadi kecepatan tinggi disalurkan kepada peluru.

ARTICLE INFO

Article History

Received : March 30, 2016

Accepted : April 26, 2016

Key Words :

Center of Gravity,
Momentum, Torque and
Body Balance

ABSTRACT

An athlete must pay attention to their physical state and technique that must be controlled so it does not happen things that are not desirable in their activities. Physical state covers health and posture, while sports techniques include techniques that must be mastered, the balance of the body, determining the center of gravity, momentum and torque. Techniques in this sport a lot of discussion in physics. A sportsman's high jump and long jump will be very good in his workout activity, if you know the center of gravity well. Humans need a balance so that all activities that do run well, so that no body part is injured. Balance occurs if the sum of all styles and the sum of all the torque acting on it equal to zero, $\sum F = 0, \sum \tau = 0$. While momentum is mostly done in sport karate, boxing, and shot put. In karate to move the great momentum often related to the speed of movement of the arm rather than the movement of the entire body. In a blow to the front, the collision occurred when the long arm reach around 70%. While in the shot put event of transfer form slow speed of movement of the whole body mass be distributed to the high-speed bullet.

1. Pendahuluan

Manusia adalah makhluk ciptaan Allah SWT. Yang paling sempurna. Kesempurnaan manusia akan senantiasa terwujud, ketika mendapatkan asupan yang seimbang. Jasmani perlu makan dan olahraga, akal butuh pengetahuan, dan hati butuh siraman rohani yang bias mensejukannya. Jika ketiganya seimbang jadilah manusia ini makhluk paripurna.

Untuk memiliki jasmani yang sehat, makan saja tidak cukup. Butuh istirahat dan olah raga yang cukup sehingga dapat meyeimbangkan zat-zat dalam tubuh. Tubuh sehat dan tidak mudah capek Untuk mendapatkan hasil olah raga yang maksimal, Seorang olahragawan harus memperhatikan keadaan fisik dan tehnik yang harus dikuasai sehingga tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan ketika melakukan aktivitas olahraganya. Keadaan fisik meliputi kesehatan dan postur tubuh, hal ini akan dibahas dalam anatomi, faal olahraga atau disiplin ilmu lainnya. Masalah teknik meliputi teknik olah raga yang dikuasai dan keseimbangan tubuh, serta hal-hal yang sangat berkaitan dengan bidang fisika, yaitu mengenai penentuan pusat gravitasi, momentum, dan torsi. Masing-masing memiliki manfaat dalam aktivitas olah raga.

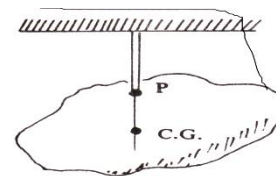
Pengetahuan fisika mengenai pusat gravitasi, momentum, dan torsi akan sangat membantu keselamatan manusia ketika berolahraga. Olah raga menjadi menyenangkan, dan cedera tubuh bisa dihindari. Dengan pemahaman sedikit mengenai beberapa ilmu fisika ini, manusia juga akan lebih tau kemanfaatan beberapa alat yang memang diciptakan untuk perlindungan tubuh manusia.

2. Pusat Gravitasi Tubuh

Titik yang dipakai gaya gravitasi pada tubuh dikenal sebagai pusat gravitasi. Pusat gravitasi ini merupakan bagian dari pusat massa. Penentuan pusat gravitasi tubuh manusia sangat berguna untuk menganalisa loncat tinggi, gymnastic, dan aktivitas olahraga lain. Teknik menentukan pusat gravitasi ada beberapa cara, yaitu:

- a) Menggantungkan sebuah objek pada titik yang berbeda

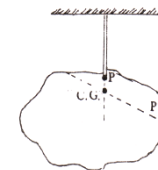
Sebuah objek yang akan ditentukan gravitasi digantungkan melalui sebuah titik P . Pusat gravitasi akan berada di bawah titik gantung (lihat gambar).



Gambar.1.



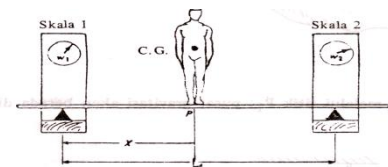
Gambar.2.



Gambar.3.

Kemudian objek tersebut digantung melalui titik P₁ pusat gravitasi akan berada di bawah titik P₁. Dengan mengetahui garis vertikal melalui P dan P₁ maka titik pusat gravitasi dapat dicari dengan mencari titik potong dari kedua garis tersebut.

- b) Berdiri di atas sebuah papan yang kedua ujungnya terdapat timbangan.



Gambar4. Suatu metode untuk mencari pusat gravitasi dari tubuh seseorang

Pada keadaan ini torsi = 0 pada titik P, maka:

$$\sum \tau = 0$$

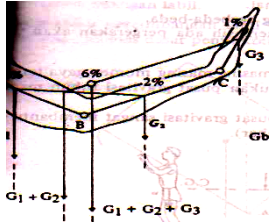
$$-X (W_1) + (L - X)(W_2) = 0$$

$$X = \frac{W_2}{W_1 + W_2} L$$

Lakukan pengukuran dua kali atau lebih dengan memutar posisi subjek 90⁰ dan subjek ditelentangkan. Dengan demikian akan diperoleh pusat gravitasi.

Dalam melakukan pengukuran massa, besar/luasnya dan pusat gravitasi terhadap masing-masing segmen (bagian) tubuh sangat sulit dan hasilnya bervariasi dari satu individu terhadap individu lainnya.

c) Metode grafik



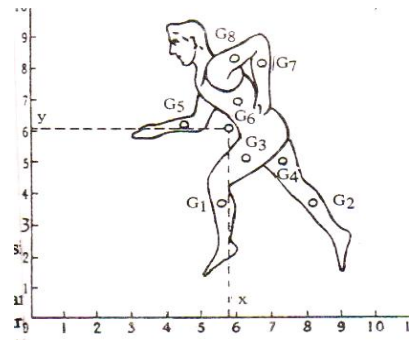
Pusat gravitasi dapat ditentukan dengan grafik melalui momen dari pusat gravitasi secara berantai. Sebagai contoh menentukan pusat gravitasi pada lengan. Mula-mula tentukan gaya pada lengan atas (G_1) yaitu pertengahan antara titik A dan titik B.

G_1 adalah 3% dari berat badan. Kemudian tentukan G_2 yaitu pertengahan antara titik B dan C, G_2 adalah 2% dari berat badan. Dengan cara yang sama dapat ditentukan G_3 yang merupakan 1% dari berat badan. Setelah memperoleh G_1 dan G_2 dapat ditentukan G_4 , dan G_3 dapat menentukan G_5 yang merupakan pusat gravitasi dari lengan.

d) Metode analisa

Dasar metode analisa adalah teorema dari varignon yaitu “jumlah dari momen suatu gaya untuk sembarang sudut adalah sama

dengan momen gaya dalam sudut yang sama.”

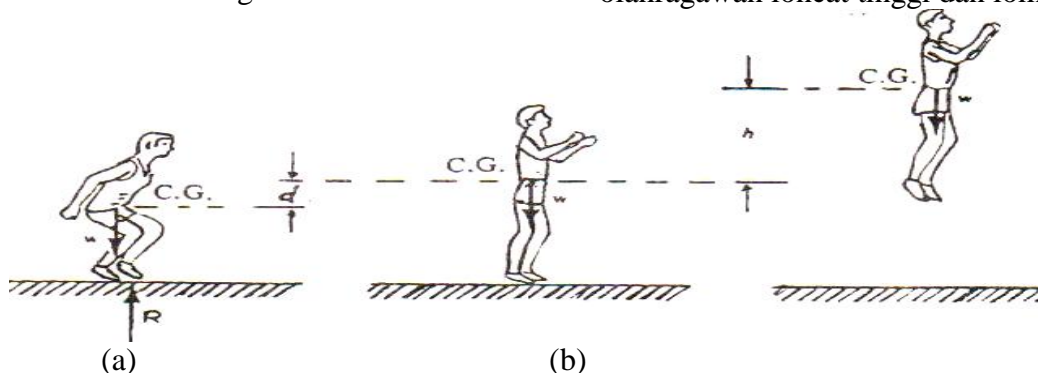


Gambar 6. Menentukan pusat gravitasi dengan metode analisa

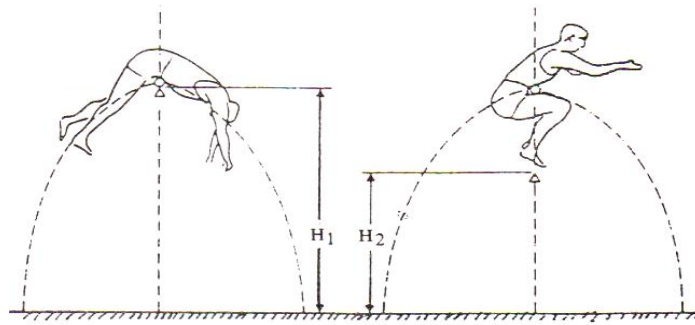
Menentukan pusat gravitasi tubuh manusia melalui perhitungan banyak memperoleh kesalahan. Hal ini disebabkan :

- Pusat gravitasi tidak tepat pada axis longitudinal.
- Setiap individu mempunyai pusat gravitasi yang berbeda-beda.
- Sistem biomekanika yang berubah bentuk (semasih ada pergerakan akan terjadi perubahan posisi dari pusat gravitasi).

Dengan menggunakan teorema varignon, kita menghitung masing-masing momen gaya terhadap sumbu X dan Y, dengan demikian pusat gravitasi tubuh manusia dapat dihitung. Dengan mengetahui dan dapat menentukan pusat gravitasi sangat membantu bagi olahragawan loncat tinggi dan lompat jauh.



Gambar 7. (a) Seorang dalam persiapan meloncat, (b) seseorang dalam keadaan melayang, (c) pergeseran pusat gravitasi sebesar (d + h).



Gambar 8 Perubahan pusat gravitasi akibat adanya perubahan tehnik loncatan

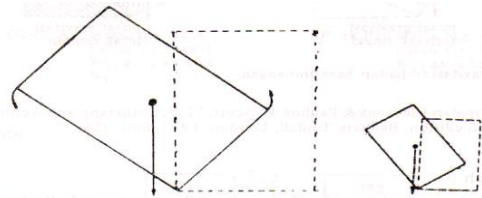
3. Keseimbangan

Benda pada keseimbangan statik jika tidak diganggu maka tidak akan mengalami percepatan translasi maupun rotasi karena jumlah semua gaya dan jumlah semua torsi yang bekerja padanya nol. Jika benda dipindahkan sedikit, maka akan terjadi tiga kemungkinan: benda kembali ke posisi semula, dikatakan sebagai kesetimbangan stabil, benda berpindah jauh dari posisi semula, dikatakan sebagai keseimbangan labil, dan benda tetap berada pada posisinya yang baru, dikatakan sebagai keseimbangan netral.

a) Keseimbangan Labil

Terjadinya keseimbangan labil disebabkan garis pusat gravitasi jatuh di luar dasar penyokong dan luas dasar penyokong terlalu kecil. Sebuah pensil yang berdiri diujungnya merupakan keseimbangan labil. Jika pusat gravitasinya tepat di atas ujungnya, gaya total dan torsi total padanya akan nol. Tetapi jika dipindahkan sedikit saja, akan ada torsi yang bekerja

padanya dan pensil akan jatuh dengan arah perpindahan awalnya.



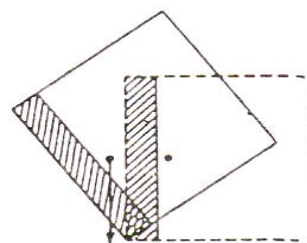
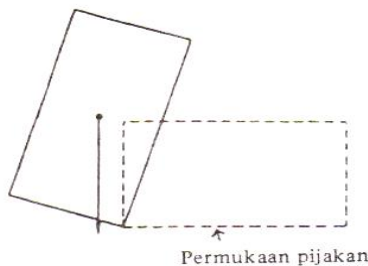
Gambar 9. keseimbangan stabil

b) Keseimbangan Stabil

Keseimbangan stabil dapat tercapai apabila benda dalam kedudukan :

- a. Kontak dengan dasar /permukaan pijakan luas.
- b. Pusat gravitasi terletak rendah dan garis pusat gravitasi terletak di dalam benda.

Sebuah bola yang tergantung bebas dari sebuah tali berada dalam keseimbangan stabil, jika digerakkan ke satu sisi, bola tersebut akan segera kembali ke posisi semula.



Gambar 10. Keseimbangan Stabil

c) Keseimbangan netral

Sebagai contoh, sebuah bola yang berada di atas meja horizontal, jika digeser sedikit ke satu sisi, bola tersebut akan tetap berada pada posisinya yang baru.

Pada sebagian besar situasi, seperti pada perancangan struktu dan dalam pekerjaan yang berhubungan dengan tubuh manusia,

membutuhkan kesetimbangan stabil atau disebut juga keseimbangan. Tubuh dalam status seimbang atau balans apabila gaya yang bekerja padanya saling meniadakan dan tubuh tetap dalam keadaan istirahat. Bilamana ditinjau dari segi pusat gravitasi dan luas kontak, keseimbangan tubuh bisa tercapai dan ditingkatkan apabila:

- 1) Letak pusat gravitasi direndahkan misalnya pada posisi duduk atau tidur.
- 2) Peningkatan luas permukaan penyangga misalnya dalam posisi tidur, duduk, waktu berjalan, bertinju kedua kaki dilebarkan. Keseimbangan tubuh dapat dikurangi dengan cara:
 - 1) Meningkatkan pusat gravitasi, dengan cara angkat tangan ke atas, menjunjung barang di atas kepala.
 - 2) Mengurangi dasar permukaan penyangga dengan cara menjinjit atau berdiri satu kaki.

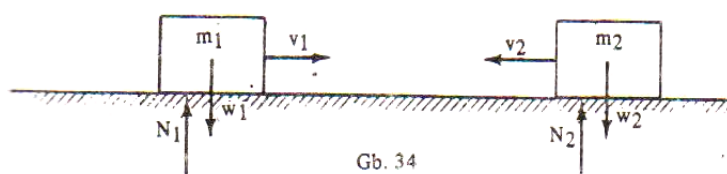
Manusia lebih tidak stabil dari mamalia berkaki empat, yang tidak hanya memiliki dasar yang lebih besar untuk menopangnya dengan adanya keempat kakinya, tetapi juga memiliki pusat gravitasi yang lebih rendah. Manusia telah mengembangkan peralatan khusus seperti otot yang kuat, untuk menghadapi masalah mempertahankan dirinya tetap tegak dan juga stabil. Karena posisi yang tegak ini manusia menderita berbagai penyakit, seperti sakit punggung bagian belakang yang disebabkan oleh gaya-gaya besar yang terlibat. Ketika berjalan dan melakukan gerakan lainnya, manusia terus menggeser tubuh sehingga pusat gravitasinya berada diatas telapak kaki, walaupun pada orang dewasa normal hal ini tidak memerlukan pemikiran sadar. Gerakan yang sederhana seperti membungkuk pun membutuhkan gerakan pinggul ke belakang sehingga pusat gravitasi tetap berada di atas telapak kaki, dan peletakkan kembali posisi ini dilakukan tanpa pemikiran. Untuk hal ini, tempatkan posisi tumit dan punggung ke dinding dan coba sentuh jari kaki anda. Anda tidak akan bisa melakukannya tanpa jatuh. Orang yang membawa beban berat secara otomatis menyesuaikan sikap tubuh mereka sehingga pusat gravitasi massa total berada di atas telapak kaki.

4. Momentum

Dalam kehidupan sehari-hari sering terjadi tabrakan, misalnya pemain sepakbola, petinju, atau mobil. Gaya yang bekerja selama tabrakan berlangsung, seringkali sulit untuk ditentukan. Apabila terjadi tabrakan/tumbukan antara dua benda, maka penggunaan momentum sangat berhasil, karena total momentum selalu tetap, walaupun momentum tiap benda berubah. Momentum dari sebuah benda didefinisikan sebagai hasil kali massa dan kecepatannya. Momentum disimbolkan dengan p . Jika m menyatakan massa sebuah benda dan v kecepatannya, maka momentum p dari benda tersebut adalah:

$$p = mv$$

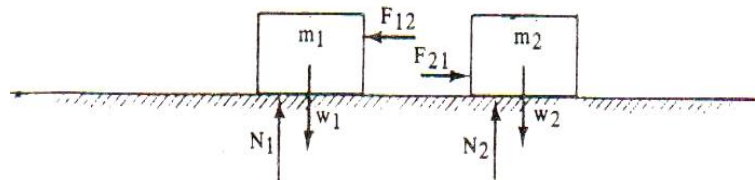
Karena momentum adalah vektor (besaran yang punya nilai dan arah), maka momentum dinyatakan dalam bentuk vektor. Sesuai dengan persamaan di atas, jika orang yang berlari cepat akan memiliki momentum yang lebih besar dibandingkan dengan orang yang berlari lambat dengan massa yang sama, dan orang yang lebih berat memiliki momentum yang lebih besar daripada orang yang lebih kecil massanya, yang keduanya bergerak dengan kecepatan yang sama. Makin besar momentum yang dimiliki suatu benda, makin susah menghentikannya, dan makin besar efek yang diakibatkannya jika terjadi tabrakan atau tumbukan. Seorang pemain sepakbola mempunyai kemungkinan lebih besar untuk pingsan jika dihadang olah lawan yang besar yang berlari dengan laju secepat-cepatnya dibandingkan dengan seorang lawan yang lebih kecil atau lebih lambat. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas akan momentum diberikan gambaran peristiwa tumbukan antara dua benda sebagai berikut:



Gambar 11. Kedua benda sebelum tumbukan

Benda A: massa m_1 , kecepatan v_1 , berat W_1 , dan gaya ke atas N_1 .

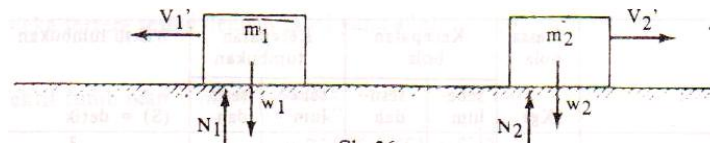
Benda B: massa m_2 , kecepatan v_2 , berat W_2 , dan gaya ke atas N_2 .



Gambar 12. Selama tumbukan

F_{12} = gaya dari m_2 terhadap m_1 ;

F_{21} = gaya dari m_1 terhadap m_2



Gambar 13. Setelah tumbukan

Setelah terjadi tumbukan maka m_1 mempunyai kecepatan v_1' , dengan arah berlawanan dengan v_1 . Demikian pula m_2 mempunyai kecepatan v_2' yang arahnya berlawanan dengan v_2 .

Momentum initial benda A adalah $P_1 = m_1 v_1$, dan benda B mempunyai nilai momentum initial $P_2 = m_2 v_2$. Selama tumbuan kedua benda dalam keadaan setimbang dan ada gaya berlawanan untuk tiap-tiap benda. Setelah terjadi tumbukan momentum tiap-tiap benda adalah, $P_1 = m_1 v_1'$ dan $P_2 = m_2 v_2'$. Untuk merubah momentum suatu benda dibutuhkan sebuah gaya baik untuk menaikkan momentum, menurunkannya (menghentikan benda yang sedang bergerak), atau untuk merubah arahnya. Perubahan momentum suatu benda berkaitan erat dengan gaya benda itu sendiri. Oleh sebab itu dalam mengukur perubahan momentum harus dicari rata-rata gaya yang bekerja pada benda. Dahulu Newton menyatakan hukum keduanya dalam istilah momentum, yang bunyinya:

“Laju perubahan momentum sebuah benda sebanding dengan gaya total yang dikenakan padanya.” Secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Dengan $\sum F$ merupakan gaya total yang dikenakan pada benda (penjumlahan vector seluruh gaya total yang bekerja padanya), dan Δp merupakan perubahan momentum yang dihasilkan dalam selang waktu Δt . Sehingga dapat dengan mudah diturunkan bentuk hukum Newton II dimana gaya sama dengan massa kali percepatan yang dinyatakan dalam rumus:

$$\sum F = m \cdot a$$

Jika v_0 merupakan kecepatan awal benda, dan v merupakan keceatannya setelah waktu t berlaku, maka:

$$\sum F = m \cdot a = m \cdot \frac{v-v_0}{t}$$

Maka,

$$F \cdot t = m (v - v_0) = m \cdot v - m v_0 = \text{perubahan impuls} = \text{impuls}$$

Dengan demikian momentum adalah gaya kali waktu atau massa kali percepatan. Satuan momentum dalam SI adalah kilogram meter per detik. ($\text{Kg} \cdot \text{ms}^{-1}$).

5. Kegunaan Momentum Dalam Bidang Olahraga

Salah satu aktivitas atletik adalah mencoba untuk meningkatkan pemindahan momentum. Sebagai contoh pada waktu betinju, pukulan melalui lencangan tangan tidak begitu efektif dalam memberikan momentum kepada lawan kecuali pukulan tersebut diikuti dengan gerakan badan. Dalam karate, untuk memindahkan momentum yang besar sering berkaitan sekali dengan kecepatan gerak dari lengan daripada gerakan seluruh badan. Sedangkan dalam lempar peluru terjadi pemindahan bentuk kecepatan lambat dari gerak massa seluruh tubuh menjadi kecepatan tinggi disalurkan kepada peluru.

Momentum memainkan peranan penting dalam olahraga. Tabel di bawah ini memberikan gambaran berbagai olahraga dalam menggunakan bola, mengenai kecepatan, tumbukan dalam kaitan momentum dan impuls.

Tabel 1. Beberapa olah raga

Jenis Bola	Massa Bola (kg)	Kec. Bola		Kec. Tumb		Waktu tumbukan (s)
		Sblm	Ssdh	Sblm	Ssdh	
Base ball	0,15	0	39	31	27	$1,35 \times 10^{-3}$
Boa kaki	0,42	0	28	18	12	8×10^{-3}
Boa golf	0,047	0	69	51	35	$1,25 \times 10^{-3}$
Bola tangan	0,061	0	23	19	14	$1,35 \times 10^{-2}$
Sepak bola	0,43	0	26	18	13	8×10^{-3}
Squash bal	0,032	0	49	44	34	3×10^{-3}
Soft ball	0,17	0	35	32	22	3×10^{-3}
Tennis ball	0,058	0	51	38	33	4×10^{-3}

Dikutip dari dr. J. F. Gabriel, " Fisika Kedokteran", Jakarta : EGC, 1996, hal26

6. Momentum dalam Tenis

Dalam olahraga Tenis, raket, lengan, dan badan merupakan bagian dari tumbukan. Massa raket 0,4 Kg dapat beraksi apabila tubuh dalam keadaan ekstensi. Massa efektif tumbukan (raket) tergantung kepada bagian tubuh manusia yang dipakai dan bagaimana cara menggunakan. Apabila seseorang mengayunkan raket, mula-mula di pergelangan tangan yang beraksi, massa efektif tumbukan sangat kecil, sehingga ayunan tangan dapat diabaikan. Apabila raket tenis digunakan memukul bola, menurut hukum Newton III bola akan menerima gaya dari raket, sedangkan raket mendapat gaya dari tubuh, dan bola akan member gaya ke bumi pada saat bola mengenai tanah. Dengan demikian momentum yang dibebankan kepada bola akan diteruskan ke bumi. Oleh karena itu sangatlah tepat apabila dicarikan massa efektif dari tumbukan. Andaikan tumbukan raket dan bola adalah dua sistem dimana pengaruh gaya dari luar ditiadakan, sehingga momentum total dari tumbukan raket dan bola adalah konstan. Massa efektif bukanlah angka tanpa arti, melainkan dalam mempelajari gerakan atlit perlu mengetahui cara bagaimana meningkatkan massa efektif tumbukan dan kecepatan bola yang tinggi. Misalkan massa bola m , kecepatan awal adalah nol. Kecepatan ahir adalah v' , massa efektif tumbukan M , mempunyai kecepatan awal v dan kecepatan ahir v' . Jika gerakan daam satu garis lurus maka besarnya momentum adalah:

$$Mv = Mv' + mv$$

Kita asumsikan m, v', v diketahui maka besarnya massa efektif tumbukan:

$$M = \frac{mv'}{v - v'}$$

Contoh soal:

Hitunglah massa efektif tumbukan pada waktu melakukan serve tennis. Apabila diketahui massa bola (M) 0,058 Kg, kecepatan bola (v') 51 m/s, kecepatan tumbukan sebelum (v) 38 m/s, dan kecepatan sesudah tumbukan (v') 33 m/s dan berapa gaya pada bola selama tumbukan berlangsung ($t=4 \times 10^{-3}$ s)?

Jawab:

Massa efektif tumbukan,

$$M = \frac{mv'}{v - v'}$$

$$M = \frac{(0,058)(51)}{38 - 33}$$

$$M = 0,059 \text{ Kg}$$

Gaya pada bola selama tumbukan berlangsung:

$$F.t = m(v' - v)$$

$$F = \frac{m(v' - v)}{t}$$

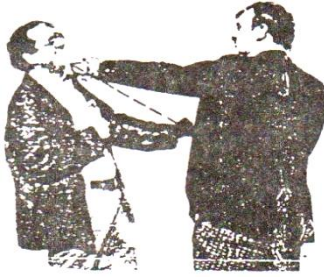
$$F = \frac{0,058(51 - 0)}{4.10^{-3}}$$

$$F = 740 \text{ N}$$

7. Momentum dalam Karate

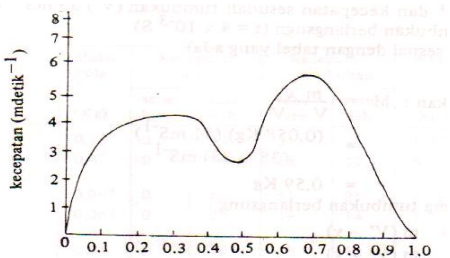
Dalam karate momentum tinggi dari suatu tumbukan dicapai melalui gerakan cepat dari lengan. Pada pukulan ke depan, gerakan mula-mula diperkirakan lurus dan terjadi tumbukan ketika gerakan dengan kecepatan maksimum serta panjang jangkauan tangan 70% (lihat gambar dan grafik). Massa

tumbukan akan sedikit berkurang atau sama dengan massa lengan.



Gambar 14. Arah pukulan dalam karate

Grafik hubungan antara kecepatan dengan panjang lengan pada peristiwa tumbukan bisa dilihat dalam grafik berikut:



Gambar 15. Hubungan antara kecepatan dan panjang lengan pada peristiwa tumbukan.

Agar lebih jelas tentang beberapa gaya pukulan, energi kinetik awal dan energi kinetik setelah terjadi tumbukan, diuraikan contoh sebagai berikut:

Contoh Soal:

Seorang karateka melakukan gerakan pukulan ke depan jangkauan tangan 70% dengan kecepatan bergerak bersama-sama setelah tumbukan terjadi. Berapakah gaya rata-rata pukulan dan berapa besar energi kinetik yang hilang apabila diketahui massa lengan (m_a) 7 Kg, massa kepala (m_n) 6 Kg, waktu tumbukan 10^{-3} s dan kecepatan $v = 5,5$ m/s.

Jawab:

Rumus momentum:

$$m_a v = (m_a + m_n) v'$$

$$v' = \frac{m_a v}{m_a + m_n}$$

$$v' = \frac{7(5,5)}{7 + 6}$$

$$v' = 2,96 \text{ m/s}$$

Gaya rata-rata pukulan:

$$F = \frac{m_a v' - m_a v}{t}$$

$$F = \frac{7(2,96) - 7(5,5)}{10^{-3}}$$

$$F = -17.800 \text{ N}$$

Lawan menerima gaya sebesar 17.800 N.

Energi kinetik awal yang dihasilkan lengan :

$$K_0 = \frac{1}{2} m_a v^2 = \frac{1}{2} (7)(5,5)^2 = 106 \text{ J}$$

Energi kinetik setelah tumbukan:

$$K = \frac{1}{2} (m_a + m_n) (v')^2 = \frac{1}{2} (7+6)(2,96)^2 = 57 \text{ J}$$

$K - K_0 = 106 - 57 = 49 \text{ J}$, merupakan energi yang merusak lawan.

Dalam karate orang berusaha melumpuhkan lawan, kalau mungkin mematahkan tulang, ini memungkinkan dengan tumbukan cepat dan mengalihkan energi yang besar. Pada olahraga tinju melumpuhkan lawan secara bertahap melalui pukulan berturut-turut, waktu tumbukan lama terutama apabila memakai sarung tangan dan mengalihkan energi per pukulan berkurang sebanding dengan waktu.

8. Daftar Pustaka

Douglas C. Giancol. (1996). "Fisika Edisi Ke empat." PT Gelora Aksara Pratama, Erlangga: Jakarta.

Halliday Resnick. (1985). "Fisika Jild 1". P.T Gelora Aksara Pratama, Erlangga; Jakarta.

J.F. Gabriel. (1999). "Fisika Kedokteran." Universitas Udayana: Bali.

Marcelo Alonso, Edward J. Finn. (1980). "Dasar-dasar Fisika Universitas Edisi Kedua". P.T Gelora Aksara Pratama, Erlangga: Jakarta.

Muslim. (2008). "Modul I Kinematika", Fakultas MIPA UGM: Yogyakarta.

Paul A. Tipler. (1996). "Fisika untuk Sains dan Teknik". P.T Gelora Aksara Pratama, Erlangga; Jakarta.

Rinto Anugraha. (2000). "Mekanika." Gava Media: Yogyakarta.