BAB - 3

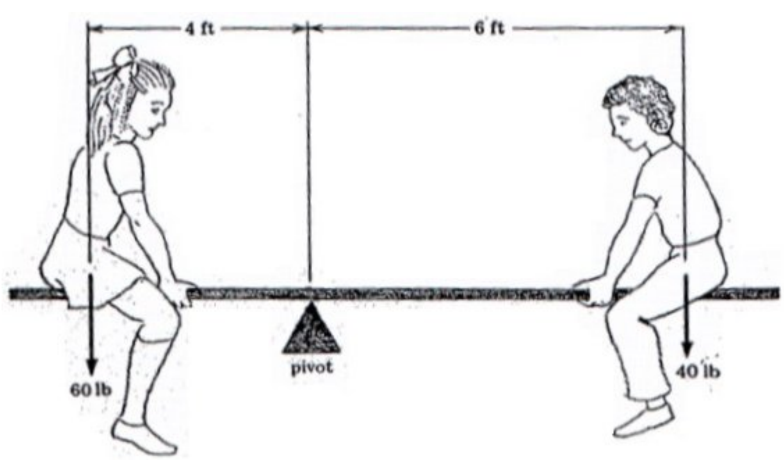
T O R S I

Hukum pertama newton tentang gerak (sifat 5, bagian 2.2) merupakan suatu kondisi yang perlu untuk suatu benda berada dalam kesetimbangan. Dalam bab terakhir ini digunakan untuk menghitung beberapa gaya di suatu keadaan fisiknya. Pada bab ini suatu sokongan kondisi yang perlu untuk kesetimbangan diperkenalkan dan digunakan untuk menentukan lebih banyak gaya. Sifat 5 dan 6 bersama-sama merupakan kebutuhan dan kondisi yang cukup untuk suatu benda berada dalam kesetimbangan.

3.1 Sifat 6 dari Gaya

Telah ditegaskan di bagian 2.1 bahwa sifat 5 hanyalah suatu kondisi yang perlu untuk suatu benda untuk berada dalam kesetimbangan. Sebagai contoh, anggap dua gaya F_1 dan F_2 sedang beraksi pada balok pada gambar 3.1. Jika sama $F_2 = -F_2$, sedemikian sehingga gaya total pada balok adalah nol, balok akan bergerak. Dalam faktanya ini akan berotasi. Kondisi $F_1 + F_2 = 0$ hanya menjamin bahwa satu titik pada balok (pusat gaya beratnya) tetap tenang. Suatu sokongan kondisi dibutuhkan untuk menjamin bahwa balok tidak mulai berotasi disekitar titik ini.

Kecenderungan suatu gaya menyebabkan rotasi terhadap suatu titik bergantung pada besarnya gaya dan jaraknya dari titik. Fakta ini sesuai dengan pengalaman seseorang pada suatu jungkat jungkit. Ketika seorang anak duduk pada setiap ujung jungkat jungkit, setiap gaya desakan pada papan cenderung berotasikannya berlawanan (gambar 3.2). Dari hukum pertama dan ketiga newton (sifat 5 dan 3) dan pembahasan dalam bagian 2.3, kita tahu bahwa jika 8,99 N si ujang di kanan diam, dia mendesakan suatu gaya 8,99 N ke bawah pada papan.



Gambar 3.2

Gaya ini merupakan reaksi terhadap gaya normal yang papan desak pada si ujang, dan itu cenderung untuk merotasikan papan searah jarum jam. Demikian juga, gaya 13,48 N gadis di kiri mendesak papan cenderung merotasikannya berlawanan arah jarum jam. Meskipun gaya ini tak sama, jungkat jungkit dapat diseimbangkan (dalam keseimbangan) jika si ujang duduk lebih jauh dari poros dibandingkan si eneng.

Aturan bahwa jungkat jungkit seimbang jika desakan gaya si ujang dikalikan jaraknya dari sumbu sama dengan terhadap desakan gaya gadis dikalikan jaraknya dari poros. Jadi jika si ujang duduk 1,83 m dari poros, dia dapat mengimbangi gadis jika dia duduk 1,22 m dari sumbu, karena

$$8{,}99 \text{ N} \times 1{,}83 \text{ m} = 13{,}48 \text{ N} \times 1{,}22 \text{ m}$$

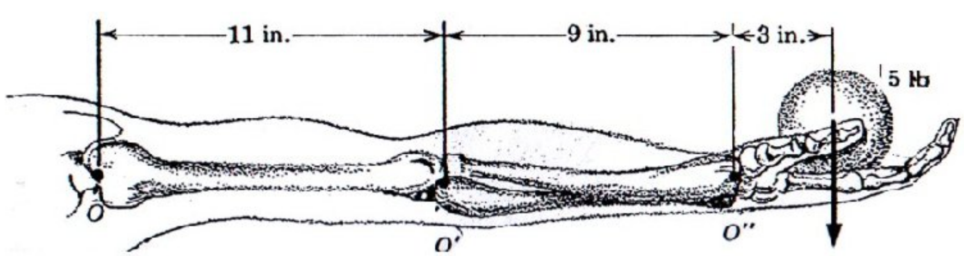
Supaya aturan ini berlaku umum untuk situasi yang lebih komplek, diperkenalkanlah konsep torsi. Torsi τ yang didesak oleh sebuah gaya F terhadap suatu titik O sama dengan besar F dikalikan jarak tegak lurus d dari O:

$$\tau = F.d \qquad 3.1$$

tanda τ diambil positif jika F cenderung menimbulkan rotasi berlawanan arah jarum jam terhadap O dan negatif jika F cenderung menimbulkan rotasi searah jarum jam. Torsi merupakan suatu ukuran kuantisasi kecenderungan suatu gaya untuk menimbulkan rotasi terhadap suatu titik. Satuannya adalah Newton-meter (Nm) .

Ada dua karakteristik yang sangat penting dari torsi: (1) besar dan tanda dari hasil torsi yang ditimbulkan oleh suatu pemberian gaya bergantung pada titik O terhadap yang mana itu dihitung, dan (2) jarak d pada persamaan 3.1 merupakan jarak tegak lurus dari titik O ke *garis aksi* dari gaya. Garis aksi adalah garis yang lurus dalam arah dari gaya yang melalui titik dimana gaya berlaku.

Karakteristik ini dapat diilustrasikan dengan menganggap torsi yang didesak oleh beban 1,12 N yang dipegang oleh lengan seorang laki-laki yang diulurkan (gambar 3.3).



Gambar3.3

Beban mendesakan suatu gaya kontak F_c 1,12 N ke arah bawah tangan, dan dengan demikian garis aksi gaya merupakan suatu garis vertikal sampai melalui tangan. Jarak tegak lurus dari pergelangan tangan (titik O") ke garis ini adalah 0.0762 m, jadi desakan torsi terhadap pergelangan tangan adalah

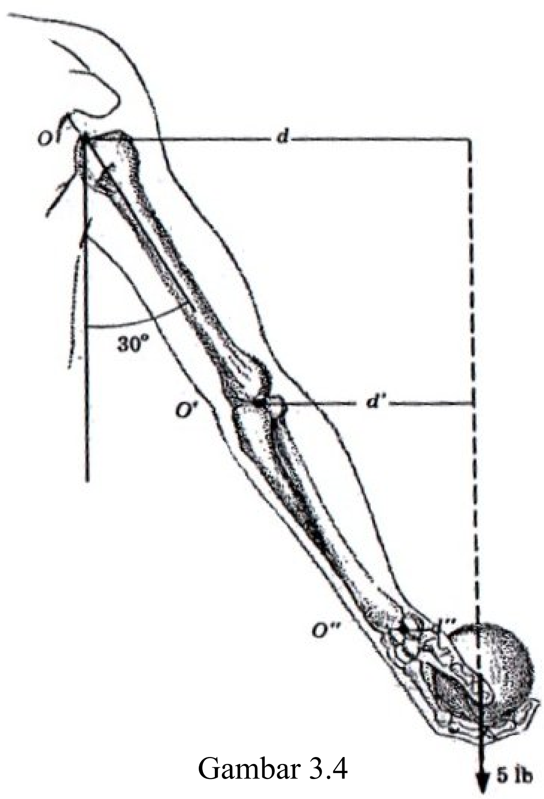
$$\tau_c^{''} = -1{,}12\, N \times 0{,}0762\, m = -0{,}085344\, Nm$$

tanda negatif karena F_c cenderung merotasi tangan searah jarum jam terhadap pergelangan tangan.

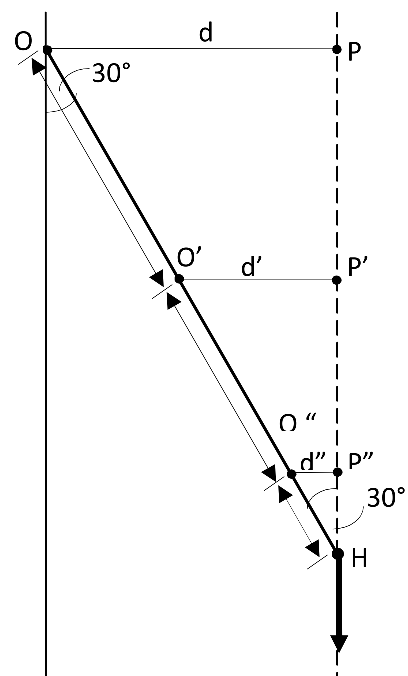
Desakan torsi oleh gaya yang sama ini terhadap sikut (titik O') adalah

$$\tau_c^{'} = -1{,}12\, N \times 0{,}3048\, m = -0{,}341376\, Nm$$

karena jarak tegak lurus dari O' ke garis aksi dari F_c adalah 0,3048 m. Lagi bertanda negatif karena F_c cenderung untuk merotasi lengan bawah searah jarum jam terhadap sikut. Dengan cara yang sama, torsi terhadap bahu (titik O) adalah $-0{,}658$ Nm. Nilai torsi dengan demikian bergantung pada titik terhadap yang mana itu dihitung. Arti fisis ini bahwa kecenderungan suatu gaya untuk menimbulkan rotasi terhadap suatu titik bertambah dengan jarak tegak lurusnya dari titik acuan gaya.



Gambar 3.4



Gambar 3.5

Ketika lengan dijaga pada sudut 30° ke tubuh (gambar 3.4), torsi terhadap pergelangan tangan, sikut dan bahu berbeda dari torsi ketika lengan horisontal. Ini dikarenakan jarak tegak lurus dari titik ini ke garis aksi gaya tidak lagi mengukur sepanjang lengan. Untuk mendapatkan torsi terhadap sikut, sebagai contoh, jarak tegak lurus d' dari O' ke gaya harus ditemukan. Ini dapat diselesaikan salah satunya dengan membuat sebuah gambar skala dan mengukur d' atau dengan mengukur menggunakan sedikit trigonometri. Gambar 3.5 menunjukan hubungan geometris penting tanpa detail anatomi yang tak perlu. Garis vertikal tebal menggambarkan tubuh, dan garis titik-titik sejajar menggambarkan garis aksi gaya. Lengan digambarkan dengan garis OH, yang dimiringkan 30° terhadap tubuh dan garis aksi.

Garis O'H dari sikut ke tangan adalah 0,3048 m, dan hipotenusanya dari segitiga kanan HP'O'. Jarak d' adalah sisi dari segitiga ini dengan sudut berlawanan 30°, sehingga

$$sin30^\circ = \frac{d'}{O'H} = \frac{d'}{0{,}3048\ m}$$

oleh karena itu jarak d' adalah

$$d' = 0{,}3048\ m \times \sin 30^\circ = 0{,}1524\ m$$

dan torsi yang ditimbulkan oleh F_c terhadap O' adalah

$$\tau_c' = -1{,}12\ N \times 0{,}1524\ m = -0{,}1707\ Nm$$

torsi terhadap O' adalah sekarang lebih kecil daripada ketika lengan horisontal karena jarak tegak lurusnya lebih kecil. Torsi terhadap O dan O" dapat dihitung dengan cara yang sama.

Arti penting torsi dalam mekanika dinyatakan dalam sifat 6 dari gaya.

Sifat 6. *Untuk sebuah benda yang tetap diam, dengan kata lain, berada dalam keseimbangan,ini penting bahwa jumlah torsi yang ditimbulkan oleh seluruh gayanya yang beraksi pada benda adalah nol*. Lagi pula, jika jumlah vektor dari gayanya yang beraksi pada benda nol dan jumlah dari torsinya nol, benda akan berada dalam keseimbangan. Itu adalah, penting dan kondisi yang cukup untuk suatu benda berada dalam keseimbangan yang merupakan jumlah dari seluruh gaya yang beraksi padanya menjadi nol (sifat 5) dan jumlah seluruh torsi yang beraksi padanya menjadi nol (sifat 6).

Dalam memakai sifat 6 seluruh torsi harus dihitung terhadap titik yang sama. Bagaimanapun, jika benda dalam keseimbangan, itu tidaklah masalah dimana titik ini ditempatkan.

Sebagai contoh, bandingkan lagi anak-anak pada jungkat-jungkit, dan anggap, seperti sebelumnya, papan berada dalam keseimbangan (gambar 3.2). Untuk memakai sifat 5 dan 6 satu yang harus pertama tentukan apakah benda dan apakah gaya berada padanya. Pada kasus ini bendanya adalah papan, dan gayanya adalah gaya kontak yang didesak padanya oleh anak-anak dan sumbu (gambar 3.6). Torsi terhadap sumbu (titik O) yang ditimbulkan oleh gaya F_1 (desakan oleh si ujang pada papan) adalah

$$\tau_1 = -F_1 \times 1{,}83\, m = -8{,}99\ \mathrm{N} \times 1{,}83\ \mathrm{m} = -16{,}45\, Nm$$

torsi terhadap O yang ditimbulkan oleh gaya F_2 (desakan gadis pada papan) adalah

$$\tau_2 = -F_2 \times 1{,}22\, m = -13{,}48\ \mathrm{N} \times 1{,}22\ \mathrm{m} = -16{,}45\, Nm$$

torsi di sekitar O yang ditimbulkan oleh gaya F_c (desakan pada papan oleh sumbu) adalah nol, karena garis aksi dari gaya ini melalui O. Itu adalah jarak tegak lurus dari O ke garis aksi F_c adalah nol, sehingga

$$\tau_c = -F_c \times 0 = 0$$

jumlah dari tiga torsi ini dengan jelas nol, seperti yang dibutuhkan untuk papan berada dalam keseimbangan.

Hanya sebaiknya dalam perhitungan torsi terhadap O yang diketahui F_c adalah tidak dibutuhkan. Bagaimanapun, dari hukum pertama (sifat 5) kita tahu bahwa $F_c=-(F_1+F_2)$, sehingga F_c adalah gaya 22,47 N berarah keatas. Oleh karena itu lebih mudah menghitung torsi terhadap titik lainnya. Sebagai contoh, terhadap titik O', dimana tempat gadis duduk, torsinya adalah

$$\tau_1' = -8{,}99\, N \times 3{,}05\, m = 27{,}41\, Nm$$

$$\tau_1' = 13{,}48\, N \times 0 = 0$$

$$\tau_1' = 22{,}47\, N \times 1{,}22\, m = 27{,}41\, Nm$$

dan lagi jumlahnya adalah nol. Jadi, ketika torsi individual berubah karena titik terhadap yang dihitungnya berubah, jumlah torsinya nol tak bergantung titik yang dipilih.

3.2 Pusat Gaya Gravitasi

Persoalan menghitung torsi τ_g yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi pada suatu benda yang luas membutuhkan perhatian khusus karena gaya gravitasi beraksi pada setiap titik dalam benda. Jadi dalam kasus lengan yang diulurkan pada gambar 3.7, ada gaya gravitasi pada tangan, tulang pada pergelangan tangan, lengan bawah dan dalam faktanya, pada setiap sel dan atom di dalam lengan. Setiap dari gaya ini mempunyai garis aksinya sendiri-sendiri dan menghasilkan torsinya sendiri-sendiri. Jumlah dari seluruh gaya ini adalah gaya total gravitasi pada lengan, dan jumlah dari seluruh torsi ini adalah total torsi τ_g berkaitan dengan gaya gravitasinya.

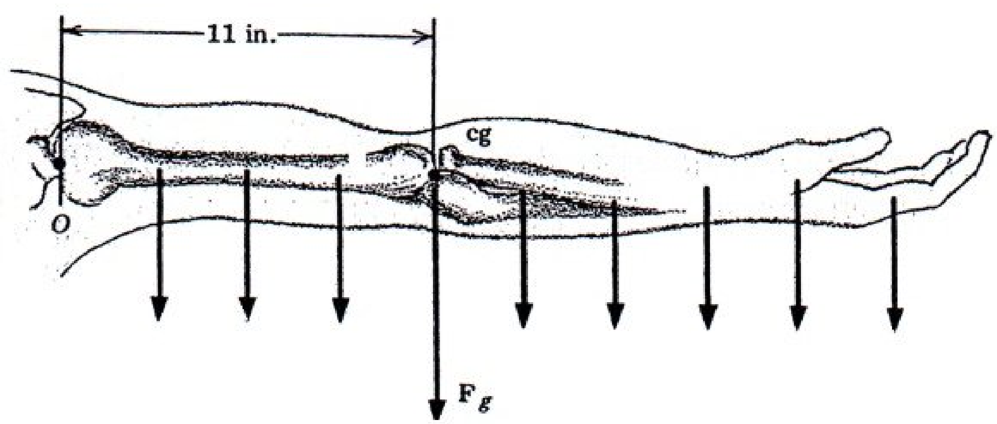
Dalam setiap benda yang luas ada suatu titik, yang disebut dengan *pusat gaya gravitasi*, dimana, untuk tujuan menghitung τ_g, gaya total gravitasinya dianggap beraksi. Sebagai contoh, pusat gaya gravitasi dari lengan yang diulurkan pada gambar 3.7 ditemukan dekat sikut, 0,28 m dari tulang sendi bahu (titik O). Jadi, jarak d dari O ke garis aksi gaya F_g adalah 0,28 m, dan dengan demikian jika berat lengan 1,57 N, torsi terhadap O yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi pada lengan adalah

$\tau_g = -F_g d = -1{,}57\ N \times 0{,}28\ m = 0{,}44\ Nm$

Untuk benda dengan bentuk sangat sederhana pusat gaya gravitasi dapat dengan mudah dihitung. Gambar 3.8 menunjukan sebuah batang 0,61 m (mengabaikan beratnya) dengan beban 1,12 N terletak pada ujung yang satu dan beban 2,25 N terletak pada ujung yang lain. Torsi terhadap titik O yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi pada beban 1,12 N adalah 0,17 Nm, dan torsi terhadap O yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi pada beban 2,25 N adalah 1,71 Nm. Jadi total torsi terhadap O adalah 1,88 Nm, dan ini sama dengan definisi total gaya gravitasi (3,37 N) dikali jarak tegak lurus d dari O ke garis vertikal yang melalui pusat gravitasi.

$\tau_g = 1{,}88\ Nm = 3{,}37\ N \times d$

Oleh karena itu pusat gaya gravitasi dari dua beban berada pada suatu tempat pada garis vertikal



AA’ terletak 1,88 Nm/3,37 N = 0,56 m ke kiri O (0,41 m ke kiri dari beban 1,12 N).

Sebuah perhitungan kedua dibutuhkan untuk menentukan pusat gravitasi pada garis AA'. Sebagai contoh, kita dapat mengulang perhitungan di atas dengan batang dan beban yang miring 30° terhadap vertikal, seperti ditunjukkan dalam gambar 3.9. Torsi terhadap O yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi pada beban 2,25 N adalah tetap 1,71 Nm, tetapi torsi yang dihasilkan oleh 1,12 N sekarang adalah 1,12 N X 0,46 m = 0,51 Nm. Pusat gaya gravitasi dengan demikian berada pada suatu tempat di garis vertikal BB' diposisi 2,22 Nm/3,37 N = 0,65 m ke kiri dari O, dan dengan demikian ini itu berada pada perpotongan garis AA' dan BB'. Jika batang dan beban cenderung pada sudut yang lain, garis dimana pusat gravitasi berada akan ditemukan pada perpotongan dari batang pada titik yang sama. Pusat gravitasi merupakan suatu titik tetap berkenaan dengan suatu benda. Seperti objek yang bergerak, pusat gravitasinya bergerak bersamanya.

Untuk benda dengan bentuk yang lebih komplek, contohnya sebuah lengan, sebuah mobil atau tubuh manusia. Pusat gaya gravitasinya ditemukan secara eksperimen. Metode untuk mendapatkannya dijelaskan di bagian 3.5. Metode ini penting dalam biomekanik karena pengetahuan posisi pusat massa setiap bagian tubuh diperlukan untuk memahami mekanisme gerakan tubuh.

Sejumlah ciri-ciri pusat gaya gravitasi secara langsung menuruti definisi dan contoh yang diberikan. Ini diringkaskan untuk memudahkan sebagai berikut

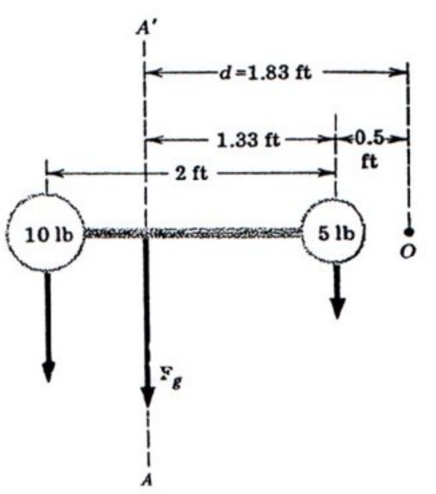
1. *Gaya gravitasi pada suatu benda menimbulkan torsi nol terhadap pusat gaya gravitasi bendanya*. Ini adalah nyata karena garis aksi gaya gravitasi melalui pusat gravitasi, menurut definisi, sehingga jarak dari pusat gravitasi ke garis ini adalah nol.
2. *Pusat gaya gravitasi dari suatu benda tegar merupakan titik kesetimbangan*. Jika sebuah penyangga ditempatkan secara langsung dibawah pusat gaya gravitasi pada suatu benda (gambar 3.10), gaya kontaknya F_c mendesak benda sama dengan – F_g, sehingga gaya total pada benda adalah nol. Selanjutnya, F_g maupun F_c menghasilkan torsi nol terhadap pusat gaya gravitasi karena garis aksi keduanya melaluinya. Konsekuensinya total torsi terhadap pusat gaya gravitasi adalah nol, dan dengan demikian benda diseimbangkan (dalam

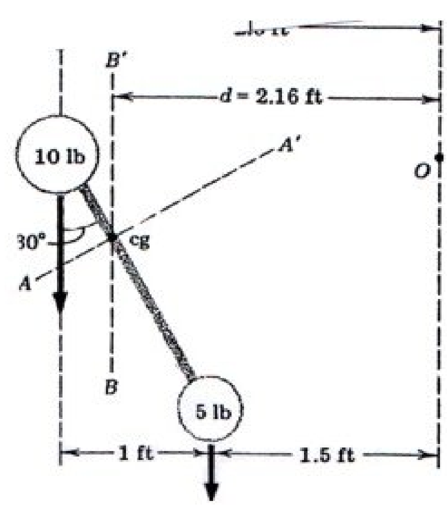
keseimbangan). (catatan karena benda berada dalam kesetimbangan, total torsi terhadap titik apa pun juga nol)

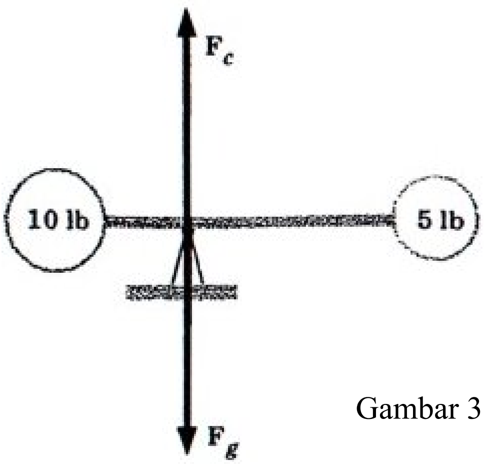
3. *Jika sebuah benda dibagi dalam dua bagian dengan memotongnya melalui pusat gaya gravitasinya, dua bagian itu tidak perlu berat yang sama*. Ini jelas dari contoh batang dan beban pada gambar 3.10, di mana dua potong bobotnya 1,12 N dan 2,25 N, secara berturutan. Bobot yang kecil yang jauh dari pusat gaya gravitasi seimbang dengan bobot yang berat yang dekat ke pusat gaya gravitasi. Untuk suatu benda dengan kerapatan mendekati seragam, pada sisi lain, pusat dari gaya gravitasinya adalah mendekati pusat geometrisnya.

4. *Untuk suatu benda tegar pusat dari gaya gravitasinya merupakan suatu titik tetap berkaitan dengan bendanya, meskipun itu tidak perlu berada didalam bendanya sendiri*. Pusat gaya gravitasi dari batang dan beban merupakan sebuah titik tetap pada batang, dan itu tidak berubah posisinya pada batang ketika batang bergerak. Pusat gravitasi dari sebuah busur derajat (gambar 3.11) berada di dalam lubang, seperti yang akan ditunjukan di bagian 3.5.

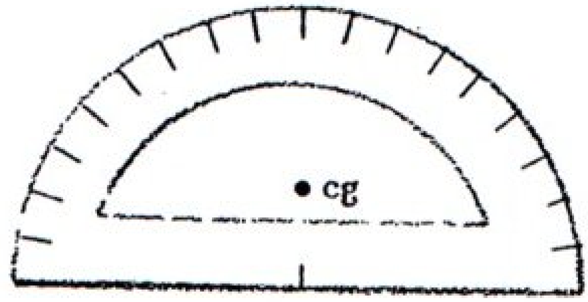
5. *Untuk suatu benda yang lunak, seperti tubuh manusia, posisi pusat gaya gravitasi berkenaan dengan perubahan benda seperti perubahan bentuknya*. Pusat gaya gravitasi dari seorang yang berdiri tegak ditemukan pada tingkat kedua dari tulang belakangnya pada suatu garis vertikal menyentuh lantai kira-kira 3 cm di depan tulang sendi pergelangan kaki (gambar 3.12). Jika seseorang mengangkat kedua lengannya lebih dari kepalanya, pusat gaya gravitasinya akan naik beberapa sentimeter. Pada saat seorang pelompat indah melipat tubuhnya (gambar 3.13) pusat gaya gravitasinya berada di sebelah luar keseluruhan tubuhnya. Kemampuan merubah posisi pusat gaya gravitasi tubuh dengan menggerakan bagian tubuh merupakan suatu sangat penting dalam menjaga keseimbangan ketika







Gambar 3.10



berjalan dan dalam keberhasilan performa dari banyak atlet berprestasi.

3.3 Keseimbangan

Untuk suatu benda yang berada dalam keseimbangan, baik jumlah gaya maupun jumlah torsi yang bekerja pada benda secara terpisah menjabi nol. Jika total torsi tidak nol, benda tidak seimbang dan akan berotasi dalam pengertian total torsi yang tidak nol beraksi padanya. Suatu benda dalam kontak dengan suatu bidang yang keras menjad Gambar 3.11 karena garis aksi dari total gaya kontak mendesak padanya oleh bidang tidak lagi melalui pusat gaya gravitasinya.

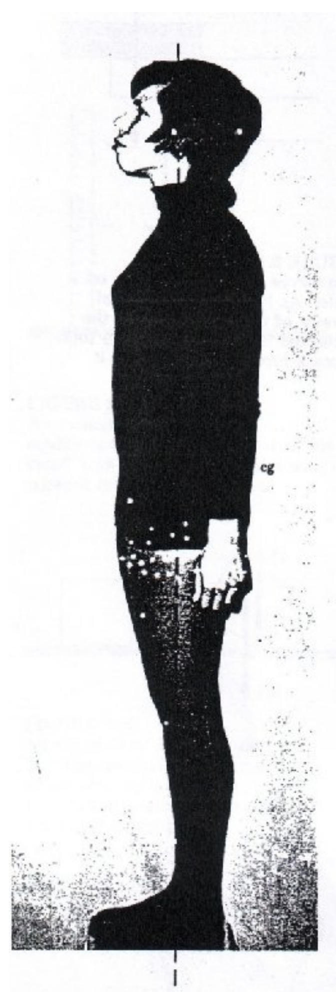
Sebagai contoh, anggap buku pada meja dalam gambar 3.14. Gaya kontak F_c meja mendesak buku disebarkan merata ke seluruh daerah kontak antara buku dan meja, tetapi seperti gaya gravitasi, total gaya kontak dapat dianggap beraksi pada satu titik pada suatu tempat di dalam daerah ini. Sepanjang pusat dari gaya gravitasi buku adalah diatas daerah kontak, titik aplikasi dari F_c akan berada tepat dibawahnya (gambar 3.14). Dalam keadaan ini total torsi dan total gaya pada buku keduanya nol, sehingga buku berada dalam keseimbangan.

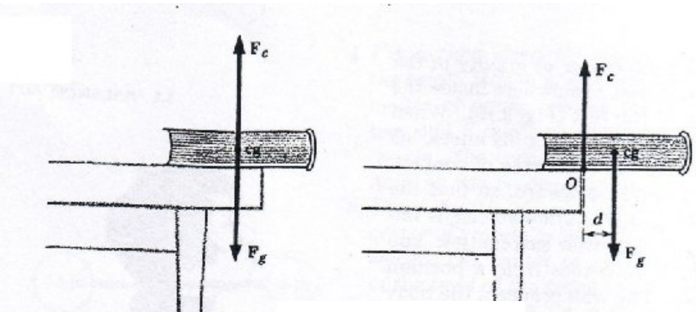
Ketika buku dipindahkan lebih jauh lepas dari meja, titik aplikasi F_c-nya berpindah ke arah tepi meja supaya tetap dalam pusat gaya gravitasi. Bagaimanapun, karena F_c didesak oleh mejanya sendiri, titik aplikasinya tidak dapat berpindah melebihi ujung meja. Ketika pusat gaya gravitasinya dipindahkan melewati tepi meja (gambar 3.15), gaya kontak tetap pada ujung dan total torsinya pada buku tidak lagi nol. Faktanya, total torsi terhadap titik O adalah $-F_g d$. Ini merupakan torsi yang searah jarum jam, dan merotasikan buku searah jarum jam lepas dari meja.

Contoh ini menjelaskan *prinsip keseimbangan : jika F_c dan F_g hanya gaya yang beraksi pada suatu benda, benda akan menjadi seimbang jika dan hanya jika pusat gaya gravitasinya ditempatkan di atas dari daerah penyangganya*. Prinsip ini mengikuti secara langsung sifat gaya 5 dan 6 dan sifat dasar gaya kontak. Itu ditegaskan disini karena sangat penting dalam memahami sifat-sifat keseimbangan tubuh.

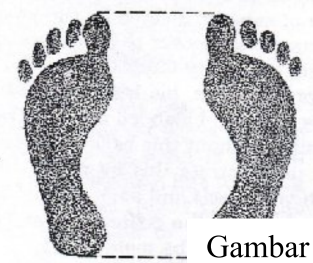
Prinsip keseimbangan mengharuskan bahwa pusat gaya gravitasi tubuh yang berdiri berada pada garis vertikal yang melewati suatu tempat di sebelah dalam daerah penyangga yang ditentukan oleh posisi kaki (gambar 3.16). Ketika seseorang lebih menekuk sampai menyentuh jari kakinya tanpa menekuk lututnya, pusat gaya gravitasinya cenderung berpindah kedepan, melebihi daerah kontaknya. Untuk menjaganya, tungkai kaki dan pantatnya bergerak ke arah belakang, sehingga tubuh tetap seimbang lebih dari kakinya (gambar 3.17). Gerak tubuh yang memungkinkan tanpa ini menggerakannya ke arah belakang dengan cara kaki dan tangan lebih rendah. Kau dapat mempertunjukan ini dengan mencoba untuk menyentuh jari kakimu dari suatu posisi dengan tumit dan punggung ke arah dinding. Tembok menjaga tubuh untuk mempertahankan pusat gaya gravitasi lebih dari daerah penyangga kontak sedemikian sehingga keseimbangan tidak dapat dipertahankan.

Ketika seseorang berdiri pada jari kakinya, pusat gaya gravitasinya harus dibawa ke depan melebihi daerah penyangganya yang sempit. Karena daerah ini sangat kecil, itu sulit mempertahankan keseimbangan pada posisi ini. Selanjutnya, jika kau berdiri dengan salah satu sisi kakimu pada suatu pintu yang dibuka dan hidungmu menyentuh tepi pintu, kau tidak dapat mengangkat jari kakimu. Pintu menghalangi pusat gaya gravitasimu menggerakan ke depan melebihi daerah penyangga antara jari kakimu.





Gambar 3.13



Gambar 3.12

Gambar 3.14

Gambar 3.15

Gambar 3.16

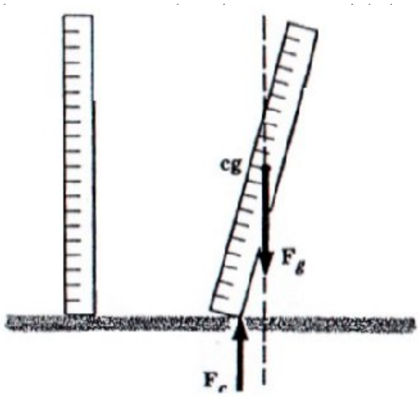
Gambar 3.17

Dalam suatu sikap yang tegak pusat gaya gravitasi tubuh secara normal berada pada suatu garis melalui kira-kira 3 cm di depan tulang sendi pergelangan kaki. Dari prinsip keseimbangan ini menyiratkan bahwa F_g dan gaya kontak F_c pada tulang sendi pergelangan kaki adalah tidak hanya gaya-gaya pada tubuh atas pergelangan kaki. Gaya ketiga dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan dan mencegah tubuh dari rotasi ke depan terhadap tulang sendi pergelangan kaki. Gaya ini digunakan oleh otot tendon Achillis di setiap tungkai kaki, yang mana melekat pada pergelangan kaki. Pusat-pusat gaya gravitasi dari sebagian besar bagian tubuh tidak berada di atas tulang sendi penyangganya, sehingga gaya otot dibutuhkan untuk menyeimbangkan. Ini dibahas secara lebih lengkap dalam bagian berikutnya.

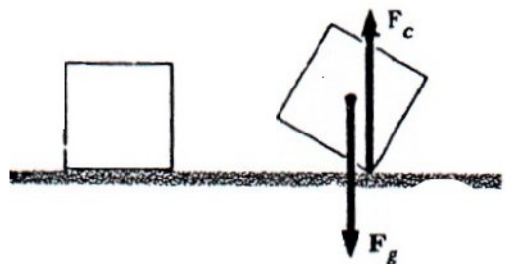
Persoalan mempertahankan keseimbangan ketika berjalan tetap lebih besar daripada ketika berdiri tegak. Ketika satu kaki diangkat lepas dari tanah, pusat gravitasi dari tubuh harus berpindah melebihi kaki penyangga. Ini membutuhkan seluruh tubuh untuk bergerak miring. Ketika berjalan, tubuh secara terus-menerus berayun-ayun dari satu sisi ke sisi lainnya untuk menjaga pusat gaya gravitasi melebihi suatu daerah penyangga yang berubah secara konstan. Ini dengan mudah diamati ketika ada seseorang berjalan kearahmu dan mencatat sisi demi sisi gerakan tubuh berkenaan dengan garis berjalannya.

Dalam prakteknya prinsip keseimbangan tidak cukup menjamin keseimbangan. Sebagai contoh, itu boleh jadi mungkin untuk menyeimbangkan sebuah penggaris tegak lurus pada akhirnya dengan sebentar (gambar 3.18). Bagaimanapun, karena pusat gaya gravitasinya sangat tinggi di atas suatu daerah penyangga yang sangat kecil, getaran sekecil apapun pada meja dapat menyebabkan pusat gaya gravitasinya berpindah keluar daerah penyangga. Sekitas ini terjadi, torsi pada penggaris yang menyebabkannya jatuh (gambar 3.18). Seperti suatu keseimbangan, yang mana dapat secara permanen dirusak dengan suatu gangguan kecil, yang dikatakan menjadi *tidak stabil*. Pada sisi lain, sebuah kotak berada pada suatu meja adalah *stabil* karena jika dinaikkan sedikit sedemikian sehingga tidak lagi berada dalam keseimbangan, total torsinya memutarnya kembali pada posisi keseimbangan mula-mula (gambar 3.19).

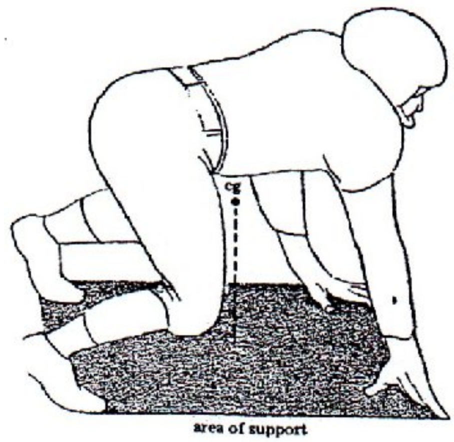
Kestabilan yang baik diperoleh dengan mempunyai pusat gaya gravitasi suatu benda yang letaknya dibawah melebihi suatu daerah penyangganya yang luas. Untuk binatang dengan empat kaki (quadruped) daerah penyangga adalah daerah luas antara ke empat kakinya, yang membuat binatang sangat stabil. Seseorang yang berdiri tegak punya suatu daerah penyangga yang relative keci tabil. Seorang guard american football mengambil suatu



Gambar 3.18



Gambar 3.19



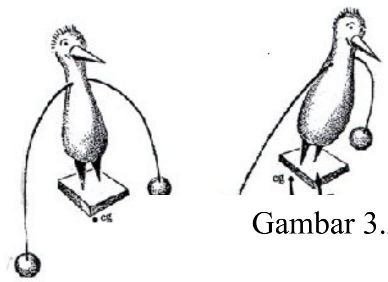
Gambar 3.20

posisi (gambar 3.20) dengan pusat gaya gravitasi yang rendah dan daerah penyangga yang luas untuk meningkatkan kestabilannya melawan ganguan tiba-tiba.

Kestabilan yang besar dicapai jika pusat gaya gravitasinya benar-benar dibawah dari daerah penyangganya. Sebuah badan kayu pada gambar 3.21 umumnya suatu mainan bahwa sungguh mengagumkan adalah tidak menjadi persoalan seberapa sangat jauh disimpangkannya. Badan kayu membawa beban berat pada daerah bawah penyangganya dan menyebabkan pusat gaya gravitasi keseluruhan tubuhnya dibawah penyangga. Ketika tubuhnya disimpangkan kedepan, total torsinya selalu memutarnya kembali keposisi keseimbangan.

Mamalia umumnya berdiri dengan empat tungkai kaki (quadrupedalism). Sikap dua tungkai kaki manusia (bipedalism) telah dikembangkan hanya dalam kurang dari sejuta tahun atau asalnya quadrupedal. Ini dibutuhkan sejumlah pengganti sementara yang mengubah anatomi manusia untuk waspada dari banyak kesulitan hubungan fisik dengan sikap nonmamalianya.

Sebagai tambahan, tulang belakang yang lonjong/lancip yang telah disebutkan (bagian 2.3), perpanjangan otot punggung, tungkai kaki, dan pinggul yang telah diperkaya untuk menjaga



Gambar 3.21

rangka tubuh tegak lurus, dan lutut punya ciri yang unik (bersama-sama hanya dengan gajah) tungkai kakinya dapat diperpanjang. Perubahan ini sering kali tidak cukup untuk tujuan bipedalism, dan akibatnya seekor binatang menderita banyak penyakit, contohnya, masalah punggung, karena sikap yang aneh.

Burung telah mempunyai bipedal selama lebih dari 100 juta tahun dan dalam banyak beberapa hal yang lebih baik mengadaptasikan model ini untuk penyangga dari pada manusia. Sebagai contoh, pusat gaya gravitasi dalam tubuh manusia dari kepala, lengan dan rangkanya terletak di dada, lebih tinggi diatas pinggulnya yang menyangganya, mengingat pusat gaya gravitasi dalam burung dari kepala, sayap, dan badannya dibawah pinggulnya (gambar 3.22). Jadi seekor burung bergantung dari pinggulnya dalam suatu konfigurasi yang sangat stabil sebaliknya keseimbangan seorang manusia tidak aman karena berada diatasnya.

Karena keseimbangan yang jelek dari sikap tegak manusia, suatu sistem kontrol yang komplek dibutuhkan untuk tetap seimbang. Ketika berdiri, secara otomatis mekanisme neuromuscular secara terus-menerus mereposisikan pusat gaya gravitasinya. Laporan perubahan dalam posisi pusat gaya gravitasi dideteksi oleh reseptor kinestetik, dan membutuhkan penyesuaian dalam otot-otot tubuh yang dibuat untuk memindahkan pusat gaya gravitasi kembali ke tengah dari daerah penyangganya. Penyusunan kembali yang terus menerus dari pusat gaya gravitasi menyebabkan itu untuk berpindah dalam kira-kira delapan susunan bentuk badan terhadap suat garis vertikal yang melalui pusat daerah penyangga.

3.4 Contoh-contoh Keterlibatan Torsi

Sifat 6 merupakan suatu penambahan kondisi bahwa gaya pada suatu benda dalam kesetimbangan harus saling menghilangkan. Bersama-sama dengan sifat 5, itu meningkatkan jumlah gaya yang tak diketahui dapat ditentukan dari suatu persoalan. Dalam bagian ini sifat-sifat ini dipakai pada beberapa persoalan biomekanika. Bagaimanapun, teknik yang digunakan disini sungguh umum dan dapat digunakan semuudah memecahkan persoalan keseimbangan dalam teknik dan mekanika. Contohnya seperti persoalan pada akhir bab.

Sebagai contoh pertama kita selidiki gaya pada seorang laki-laki 40,45 N yang sedang berdiri tegak. Misalkan F_R dan F_L menjadi gaya kontak berarah keatas pada kaki kanan dan kirinya, berurutan, dan anggap bahwa dia sedang berdiri lurus sehingga pusat gravitasinya berada pada suatu garis yang melewati pertengahan antara kakinya (gambar 3.23). Dari hukum pertama (sifat 5) jumlah dari gaya-gaya pada seorang laki-laki adalah nol

$F_R + F_L + F_g = 0$

dan dengan demikian, karena gaya-gaya ini adalah sejajar, besar gaya mereka ditentukan oleh hubungan

$$F_R + F_L = 40{,}45\ N \qquad 3.2$$

Untuk mendapatkan besar masing-masing F_R dan F_L kita gunakan sifat 6. Torsi mungkin diambil terhadap sembarang titik, tetapi dalam kasus ini cocoknya diambil terhadap titik O, dimana F_L beraksi pada kaki kiri. Jika kaki-kakinya terpisah sejauh 0,31 m, torsi terhadap titik ini adalah

$\tau_L = F_L \times 0 = 0$

$\tau_R = -F_R \times 0{,}31\ m$

$\tau_g = F_g \times 0{,}15\ m = 6{,}17\ Nm$

Karena, menurut sifat 6, jumlahnya adalah nol, kita dapatkan

$-F_R \times 0{,}31\ m + 6{,}17\ Nm = 0$

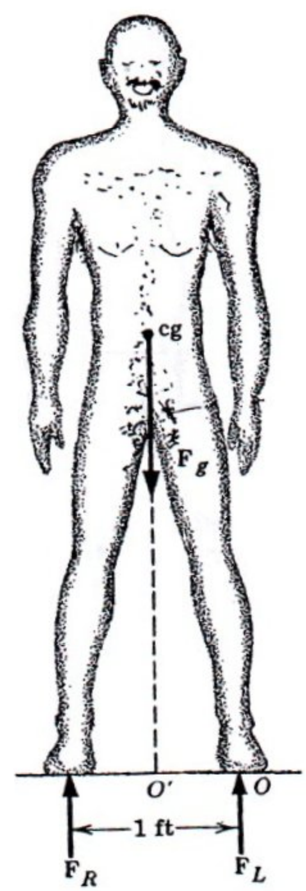
sehingga

$F_R = 20{,}23\ N$

substitusi hasil ini kedalam persamaan 3.2

$20{,}23\ N + F_L = 40{,}45\ Nm$

$F_L = 20{,}23\ N$



Gambar 3.22

Gambar 3.23

Apa yang terjadi jika salah satu dari tungkai kaki seorang laki-laki terluka sehingga itu tidak dapat sepenuhnya bersama-sama menanggung berat? Sebagai contoh, andaikata pergelangan kaki kiri seorang laki-laki terluka sehingga ia tidak dapat mendapat gaya kontak padanya lebih besar dari pada 10,11 N tanpa sangat kesakitan. Total gaya padanya masih nol, sehingga dengan F_L =10,11 N, berdasar persamaan 3.2 membutuhkan F_R = 30,34 N. Jika laki-laki itu berdiri tegak, torsi terhadap O sekarang menjadi

$$\tau_L = 10{,}11\ N \times 0 = 0$$

$$\tau_R = -30{,}34\ N \times 0{,}31\ m = -9{,}41\ Nm$$

$$\tau_g = 40{,}45\ N \times 0{,}15\ m = 6{,}07\ Nm$$

Jumlah dari torsi ini adalah −3,08 Nm, dan dengan demikian, menurut sifat 6, dia tidak akan dalam keseimbangan. Ini adalah mustahil. Dalam kenyataannya lelaki itu tidak akan berdiri tegak tetapi akan miring untuk merubah pusat gaya gravitasinya ke arah kaki kanan (gambar 3.24).

Untuk mendapatkan dimana pusat gaya gravitasinya terletak, perhitungannya diulang, dimulai dengan diketahui bahwa F_L = 10,11 N; jarak d dari pusat gaya gravitasi ke kaki kiri tidak diketahui. Dari persamaan 3.2 kita mendapatkan lagi F_R =30,34 N, sehingga torsi terhadap O adalah

$$\tau_L = 10{,}11\ N \times 0 = 0$$

$$\tau_R = -30{,}34\ N \times 0{,}31\ m = -9{,}41\ Nm$$

$$\tau_g = 40{,}45\ N \times d$$

dan jumlahnya adalah

$$-9{,}41\ Nm + 40{,}45\ N \times d = 0$$

jadi posisi dari pusat gaya gravitasi adalah

$$d = \frac{9{,}41\ Nm}{40{,}45\ N} = 0{,}23\ m$$

dan ini dirubahnya jauh dari kaki terluka ke arah kaki yang baik. Ini diselesaikan dengan membengkokkan tubuh kearah kanan dan menganggapnya suatu sikap yang sedikit pincang.

Bandingkan contoh terakhir ini dengan contoh dari jungkat-jungkit di bagian 3.1. Karena keadaan berbeda, dasar fisikanya adalah sama; dalam kedua persoalan suatu benda dalam kesetimbangan sedang dikenakan tiga gaya yang sejajar dengan garis aksi yang berbeda.

Sebagai contoh lain kita analisis sekali lagi pada lengan yang diulurkan dalam gambar 2.30, 2.37, 3.7, dan 3.25. Ada tiga gaya yang beraksi padanya; gaya gravitasi F_g, gaya otot F_m digunakan oleh otot deltoid, dan gaya kontak yang didesak pada tulang sendi bahu. Berat lengan 1,57 N; berat dan arah F_g keduanya diketahui. Arah dari F_m didapat dari menyelidiki sinar X dari otot. Dalam bagian 2.5 kita menganggap, selanjutnya, suatu nilai untuk besar F_m dan ditunjukkan bagaimana hukum pertama memungkinkan kita untuk mendapatkan besar dan arah F_c. Sekarang kita menunjukan bagaimana besar dari F_m dapat dihitung menggunakan sifat 6.

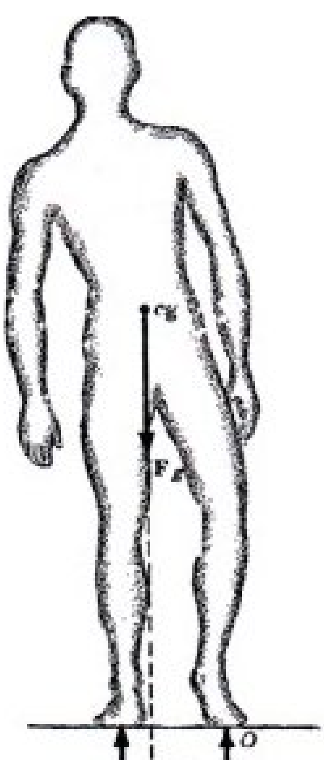
Torsi diambil terhadap tulang sendi bahu (titik O) karena gaya yang tak diketahui mendesak torsi nol terhadap titik ini, yaitu

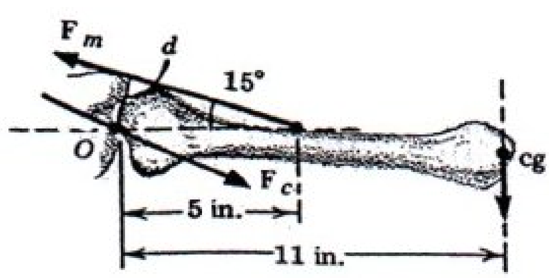
$$\tau_c = F_c \times 0 = 0$$

Pusat gaya gravitasi lengan dapat ditentukan dengan metode yang dibahas dalam bagian berikutnya. Untuk sekarang dianggap terjadi pada sikut, 0,28 m dari O, jadi torsi yang ditimbulkan oleh F_g terhadap O adalah

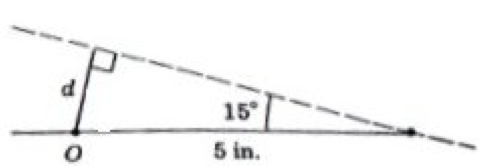
$$\tau_g = -1{,}57\ N \times 0{,}28\ m = 0{,}44\ Nm$$

Torsi yang didesak oleh F_m bergantung pada garis aksinya. Ini dapat diperkirakan dari penyelidiki sinar X dari benda hidup dan dari pengujian secara anatomi. Pada gambar 3.25 itu ditunjukan pada sudut 15° ke humerus (tulang lengan depan) dan memotong humerus 0,13 m dari O.





Gambar 3.25



Gambar 3.26

Gambar 3.24

Torsi yang di hadap O adalah

$$\tau_m = F_m d$$

dimana d adalah jarak tegak lurus dari O ke garis aksi F_m. Gambar 3.26 menunjukan dengan lebih jelas struktur geometris yang digunakan untuk menghitung d. Jarak ini dapat ditemukan salah satunya dengan menggambarkan gambar 3.26 dalam skala atau dengan menggunakan hubungan geometri:

$$sin\ 15° = \frac{d}{0{,}13\ m}$$

jadi,

$$d = 0{,}13\ m \times \sin 15° = 0{,}033\ m$$

Salah satu cara mendapatkan

$$\tau_m = F_m \times 0{,}033\ m$$

Sifat 6 mengatakan jumlah dari torsi ini adalah nol, jadi

$$-0{,}44\ Nm + F_m \times 0{,}033\ m = 0$$

Selesaikan F_m, kita peroleh

$$F_m = \frac{0{,}44\ Nm}{0{,}033\ m} = 13{,}26\ N$$

Gaya F_g dan F_m sekarang diketahui dengan lengkap, jadi sifat 5 dapat digunakan untuk menentukan F_c. ini telah dikerjakan di bagian 2.5, dimana F_m dianggap menjadi 13,48 N untuk menyederhanakan. Jadi sifat 5 dan 6 bersama-sama memungkinkan kita mendapatkan tiga yang belum diketahui: besar F_m dan F_c dan arah F_c .

Andaikata sekarang suatu beban 1,12 N diletakkan pada tangan dari lengan yang diulurkan pada jarak 0,58 m dari tulang sendi bahu (gambar 3.3). Beban ini mendesakkan suatu gaya kontak 1,12 N pada lengan, dan torsinya terhadap nol adalah 1,12 N X 0,53 m = 0,59 Nm. Total torsi terhadap nol sekarang adalah

$$-0{,}44\ Nm + F_m \times 0{,}033\ m - 0{,}59\ Nm = 0$$

jadi

$$F_m = \frac{1{,}0336\ Nm}{0{,}033\ m} = 33{,}26\ N$$

Karena jarak dari tulang sendi ke tangan adalah jauh lebih besar daripada jarak dari tulang sendi ke otot, suatu gaya yang hanya 1,12 N yang didesakkan pada tangan membutuhkan gaya dalam otot hingga meningkat 20 N. Ini dimungkinkan untuk rata-rata seseorang yang memegang suatu beban lebih dari 2,25 atau 3,37 N dalam posisi lengan yang diulurkan.

Perubahan kecil dari sikap tubuh dapat menimbulkan perubahan yang sangat mengejutkan dalam aksi gaya di dalam tubuh. Seperti suatu contoh, kita akan memeriksa gaya yang terlibat ketika berdiri pada satu kaki. Pertama, anggap seseorang 44,94 N yang berdiri tegak sehingga pusat gravitasinya berada pada suatu garis melalui pertengahan antara kakinya. Setiap tungkai kaki beratnya 6,74 N dan kepala, lengan dan rangka tubuhnya (disingkat HAT) bersama-sama beratnya 31,46 N. Berat ini disangga oleh gaya kontak 15,73 N yang didesak oleh tulang paha pada setiap tulang sendi pinggulnya.

Orang itu sekarang mengangkat kaki kirinya lepas dari tanah. Supaya tetap seimbang pusat gaya gravitasinya harus digeser melebihi kaki kanannya. Gambar 3.24 menunjukan itu pada suatu garis yang melalui 0.076 m dari pusat gaya gravitasinya dari tungkai kaki kanan (titik R). Kepala, lengan, rangka tubuh dan tungkai kaki kiri (disingkat HATL) dapat dianggap sebagai benda tunggal dengan tiga gaya yang beraksi padanya: gaya berat 38,20 N, gaya F_m yang didesak oleh otot abduktor pinggul, dan gaya kontak F_c yang didesak oleh tulang paha pada pinggul. Gaya-gaya ini dapat dihitung dalam cara yang sama seperti gaya pada lengan.

Di sana ada satu kesukaran. Pusat gaya gravitasi dari HATL (titik H) tidak pada garis vertikal dengan pusat gaya gravitasi dari seluruh tubuh (titik cg), tetapi berada pada suatu garis berjarak x ke kiri. Total gaya gravitasinya pada tubuh telah dibagi ke dalam gaya 6,74 N pada tungkai kaki sebelah kanan dan gaya 38,20 N pada HATL. Jumlah dari torsi kedua gaya ini terhadap cg harus menjadi nol karena gaya-gaya ini sama dengan total gaya gravitasi yang beraksi pada cg. Itu adalah, x ditentukan oleh kondisi

$$6{,}74\ N \times 0{,}076\ m - 38{,}20\ N \times x = 0$$

Jadi

$$x = \frac{0{,}51\ Nm}{38{,}20\ N} = 0{,}014\ m$$

Garis aksi dari F_m diketahui secara anatomis dan penyelidikan sinar x dari kumpulan abduktor pinggul. Itu membuat sudut 60° ke horizontal dan memotong tulang paha pada titik M, seperti yang ditunjukan dalam gambar 3.27. Titik tangkap dari F_c tidak diketahui dengan tepat, tetapi titik harus berada di suatu tempat pada tulang sendi. Untuk tujuan perhitungan ini diambil menjadi titik O, yang mana 0,076 m ke kiri M dan 0,102 m ke kanan dari garis vertikal yang melalui cg. Torsi di ambil terhadap O karena F_c menimbulkan torsi nol disekitarnya. Jarak tegak lurus d dari O ke F_m didapatkan denga menyelidiki gambar 3.27. yaitu

$$d = 0{,}076\ m \times \sin 60° = 0{,}066\ m$$

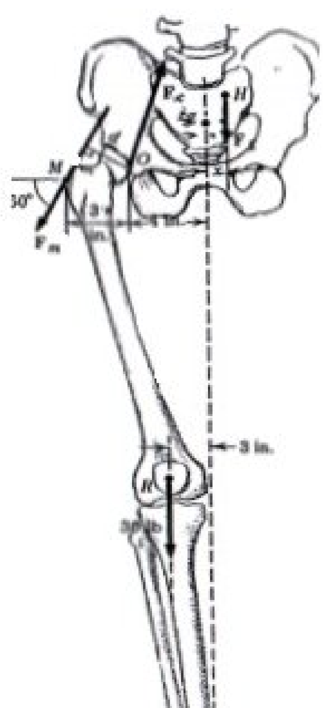
jadi total torsi terhadap O adalah

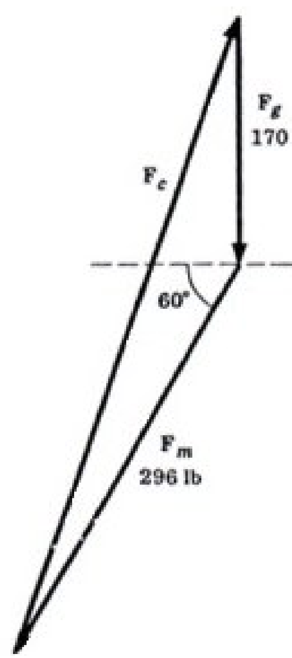
$$F_m \times 0{,}066\ m - 38{,}20\ Nm \times 0{,}12\ m = 0$$

Gaya dalam otot lalu yaitu

$$F_m = \frac{52{,}74\ Nm}{0{,}066\ m} = 66{,}52\ N$$

Gaya kontak sekarang dapat didapatkan dengan menggunakan sifat 5. Gaya F_m dan F_g ditarik dari kepala ke ekor (gambar 3.28), dan F_c adalah gaya yang, ditambah ini, melengkapi segitiga. Detail telah dibahas dalam bagian 2.5. Itu didapatkan besar F_c kira kira 101,12 N, atau lebih dari 6 kali gaya kontak yang didesak pada tulang paha ketika berdiri pada kedua kaki. Jadi seperti seseorang yang berjalan, gaya kontak pada tulang paha berubah sangat besar karena tubuh secara bergantian yang disangga oleh kaki kedua-duanya, memperlakukan tulang sendi pada suatu hantaman pukulan yang sangat. Pastinya tulang sendi di desain untuk menyerap guncangan ini tanpa efek sakit, tetapi jika tulang sendi mengalami malfungsi (kegagalan pemakaian), hantaman ini mungkin menimbulkan trauma (luka berat).





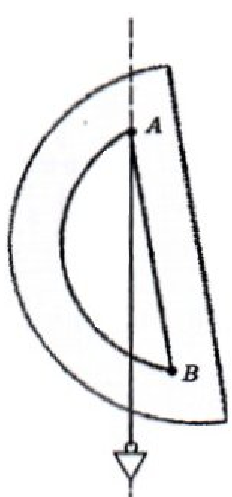
Gambar 3.28

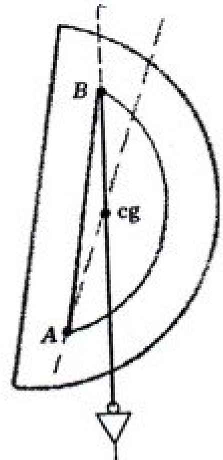
3.5. Menemukan Pusat Gaya Gravitasi

Dalam rangka menganalisa gaya pada suatu benda posisi dari pusat gaya gravitasinya harus diketahui. Ad Gambar 3.27 tuk menemukannya baik pada benda hidup maupun benda mati. Metode ini menggunakan sifat khusus dari pusat gaya gravitasi, dalam fakta tertentu bahwa total gaya gravitasi pada suatu benda menghasilkan torsi nol terhadap pusat gravitasinya dan dengan demikian pusat gaya gravitasi merupakan titik keseimbangan dari suatu benda tegar (bagian 3.2)

Suspensi (Penggantungan)

Ketika suatu benda tegar digantung dari suatu titik dalam benda, benda menggantung dengan pusat gaya gravitasinya pada garis vertikal yang melewati titik suspensi (penggantungan). Ini menyebabkan gaya kontak pada titik suspensi (penggantungan), menjadi hanya gaya selain dari gaya gravitasi pada benda, juga harus menghasilkan torsi nol terhadap pusat gaya gravitasinya. Pusat gaya gravitasi dari suatu benda tegak dengan demikian dapat ditemukan dengan menggantungnya dari suatu titik dan menandai garis vertikal yang melalui titik suspensi. Gambar 3.29 menunjukan sebuah busur derajat yang digantung dari titik A, bersama-sama dengan garis vertikal yang melalui titik ini ditetapkan suatu tali bandul. Benda lalu digantung dari titik yang lain dan suatu garis vertikal kedua ditandai padanya. Gambar 3.30 menunjukan busur derajat menggantung dari titik B. Dua garis ini berpotongan di pusat gaya gravitasi bendanya, yang mana pada kasus ini berada di sebelah dalam lubang pada busur derajat. Pusat gaya gravitasi dari bermacam-macam bagian tubuh manusia telah ditemukan dengan menggantung spesimen beku yang diambil dari mayat.





Penghitungan Gambar 3.29 Gambar 3.30

Pusat gaya gravitasi dari suatu benda tersusun dari beberapa bagian yang dapat dihitung jika berat dan posisi pusat gaya gravitasi dari setiap bagiannya diketahui. Pertama anggap suatu benda terdiri dari dua bagian yang mana pusat gaya gravitasinya, A dan B, dipisahkan dengan jarak d (gambar 3.31). Karena lazimnya pusat gaya gravitasi cg dari seluruh benda adalah titik keseimbangnya, itu harus berada pada garis lurus yang menghubungkan A dan B. Lalu jika x adalah jarak dari cg ke A, kondisi bahwa cg menjadi titik keseimbangan adalah

$$W_1 x - W_2(d - x) = 0$$

dimana W_1 dan W_2 adalah berat dari kedua bagian benda. Selesaikan persamaan ini untuk x memberikan

$$x = \frac{W_2}{W_1 + W_2} d \qquad 3.4$$

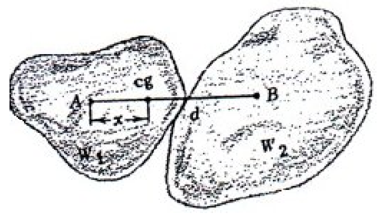
yang merupakan rumus umum untuk mendapatkan pusat gaya gravitasi dari suatu benda yang terdiri dari dua bagian. Ini merupakan cara umum yang paling mudah digunakan untuk menemukan pusat gaya gravitasi dari batang dan beban di bagian 3.2.

Misalkan suatu contoh kita akan menemukan pusat gaya gravitasi dari tubuh (minus lengan) dari atlet dalam posisi yang ditunjukan dalam gambar 3.32. Posisi dari pusat gaya gravitasi dari kepala (titik H), rangka tubuh (titik T), dan tungkai kaki (titik L) dianggap diketahui dari menyelidiki mayat. Untuk seorang atlet bertinggi 1,83 m dengan berat 44,94 N, nilai yang normal untuk berat dari kepala, rangka tubuh dan tungkai kaki adalah W_H = 2,70 N, W_T = 22,02 N dan W_L = 13,48 N.

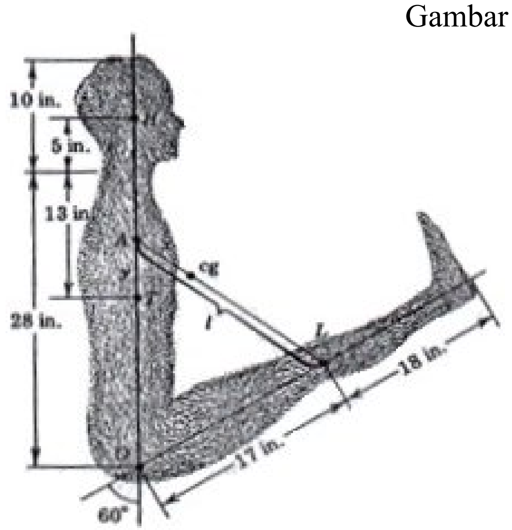
Jarak y dari T ke pusat gaya gravitasi umum (titik A) dari kepala (2,70 N) dan rangka tubuh (22,02 N) adalah yang pertama dicari. Jarak d antara H dan T adalah 0,47 m, jadi persamaan 3.4 menentukan y menjadi

$$y = \frac{2{,}70\ N}{24{,}72\ N} \times 0{,}47\ m = 0.051\ m$$

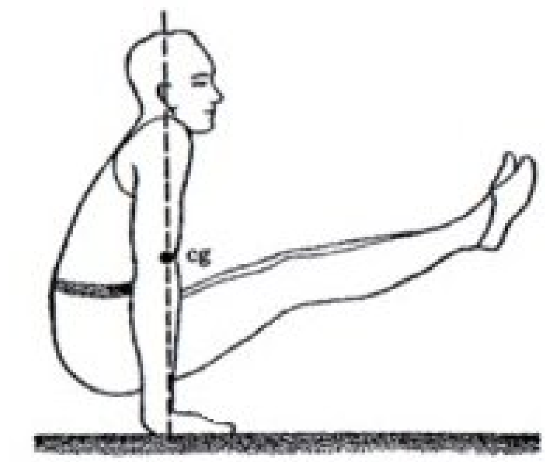
Lalu pusat gaya gravitasi umum (cg) dari kepala dan rangka tubuh (24,72 N) dan tungkai kaki (13,48 N) berada pada garis antara A dan L. Panjang l dari garis ini ditentukan dari jarak dan sudut yang diberikan dalam gambar salah satunya dengan membuat suatu skala gambar atau catatan, dalam kasus ini, bahwa AOL adalah suatu segitiga sama sisi, jadi l adalah 0,43 m. Jarak x dari A ke cg diperoleh menggunakan persamaan 3.4 dengan kepala dan rangka tubuh sebagai satu bagian dan bagian lainnya tungkai kaki. Hasilnya adalah



Gambar 3.31



Gambar 3.32



Gambar 3.33

$$x = \frac{13{,}48\ N}{38{,}20\ N} \times 0{,}43\ m = 0.152\ m$$

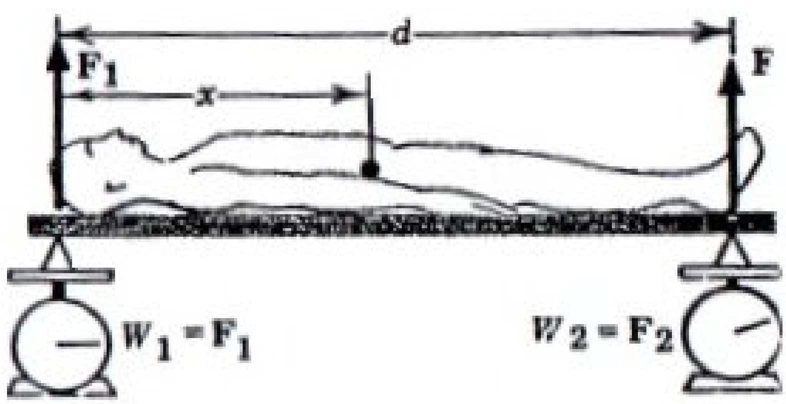
jadi cg berada sebelah luar tubuh seperti ditunjukan.

Ada suatu pertunjukan ketangkasan senam disebut dengan half lever (atau posisi L) yang mana pemain duduk di lantai dan mengangkat badannya dengan lengannya, seperti ditunjukan pada gambar 3.33. Karena pusat gaya gravitasi dari kepala, rangka tubuh dan tungkai kaki berada di depan dada, tubuh berayun dengan enteng ke arah belakang sehingga pusat dari gaya gravitasinya berada secara langsung di bawah bahunya. Ini menunjukan bagaimana posisi dari pusat gaya gravitasi tubuh bergantung pada sikap dan bagaimana ini mempunyai pengaruh atas pergerakan tubuh.

Menimbang

Metode suspensi (penggantungan) adalah sangat tidak praktis untuk menentukan pusat gaya gravitasi dari seorang manusia yang hidup. Sebagai ganti apa telah yang dilakukan adalah menimbangnya pada suatu papan yang disangga oleh dua skala timbangan (gambar 3.34). Papan diam pada pasak timbangan sedemikian sehingga posisi yang tepat dari gaya kontaknya dapat diketahui. Sistem diatur sedemikian sehingga ketika suatu subjek diletakkan pada papan, kepala dan kakinya tepat dengan pasak timbangannya. Posisi dari pusat gaya gravitasi subjek ditentukan dari membaca W_1 dan W_2 dari dua skala, karena ini sama dengan gaya kontak pada skala. Ini telah dilakukan di bagian 3.4, dimana pusat gaya gravitasinya dari seseorang yang pincang telah didapatkan dari gaya kontak pada kakinya. Ini adalah mudah diperlihatkan bahwa jika jarak antara pasak adalah d, maka jarak x dari pusat gaya gravitasi ke skala membaca W_1 diberikan oleh persamaan 3.4.

Posisi depan ke belakang dari pusat gaya gravitasi didapat dengan cara yang sama dengan memegang subjek berdiri dengan pusat kakinya pada salah satu skala dan tumitnya pada skala lainnya.



Gambar 3.34

3.6. Soal-soal

5. Seorang pria muda dapat mendesak gaya maksimum 84 lb ke test strap ditunjukan di gambar 3.37. Jika test strap 11 in. dari sikut dan otot bisep berimpit 2 in. dari sikut, berapa besar gaya yang didesak oleh (a) otot bisep dan (b) humerus?

jawab:

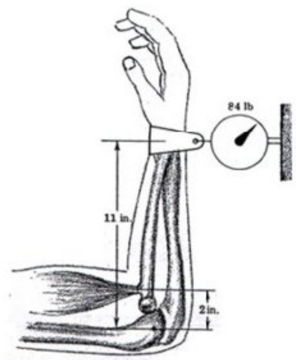


FIGURE 3.37 Problem 5.

(a) τ terhadap titik sikut

$$\Sigma\,\tau = 0$$

$$F_b.2\ in = 84\ lb.11\ in$$

$$F_b = \frac{924\ lb.in}{2\ in} = 462\ lb$$

(b) $\Sigma\ \mathrm{F} = 0$

$$F_b = F_h + 84\ lb$$

$$F_h = F_b - 84\ lb$$

$$F_h = 462\ lb - 84\ lb = 378\ lb$$

9. Seorang pria membawa papan 8 ft, dengan salah satu tangan mendorongnya dengan gaya F_1 pada salah satu ujung papan dan tangan yang lain mengangkatnya dengan gaya F_2 berada 1 ft dari ujung ini gambar 3.41. Berat papan 25 lb dan pusat gravitasi di tengah papan. Hitung F_1 dan F_2.

Jawab:

τ terhadap F_1

$$\Sigma\,\tau = 0$$

$$F_2.1\ ft = 25\ lb.4\ ft$$

$$F_2 = \frac{100\ lb.ft}{1\ ft} = 100\ lb$$

$$\Sigma\,\mathrm{F} = 0$$

$$F_2 = F_1 + F_g$$

$$F_1 = 100\ lb - 25\ lb = 75\ lb$$

$$F_h = 462\ lb - 84\ lb = 378\ lb$$