

PERANAN ALAT LOKOMASI SEBAGAI SARANA KELANGSUNGAN HIDUP HEWAN: SUATU KAJIAN ANATOMI FUNGSIONAL

PENDAHULUAN

natomi adalah ilmu dasar yang umumnya kurang diminati oleh para ilmuwan hayati, barangkali karena dianggap sebagai bidang yang kurang menantang dan “kering”. Bagi kebanyakan mahasiswa kedokteran dan kedokteran hewan, mata kuliah Anatomi identik dengan hafalan sebagian besar kelak akan dilupakan setelah istilah bahasa Latin yang sebagian besar kelak akan dilupakan setelah menjadi sarjana dan dokter. Pada kenyataannya, struktur tubuh dapat ditelaah dan dibahas dengan pendekatan fungsional yang terkait dan tidak semata-mata bersifat deskriptif. Pada kesempatan ini akan dibahas mengenai salah satu bagian dari Anatomi yaitu alat lokomosi, suatu alat yang amat instrumental bagi kelangsungan hidup hewan.

Kemampuan bergerak merupakan karunia ilahi yang tak ternilai bagi suatu makhluk hidup. Pergerakan tubuh memungkinkannya hewan dapat mencari makan, mempertahankan diri, mencari tempat perlindungan serta melakukan ritus perkawinan untuk berkembang baik. Ke gesitan dan kecepatan gerak seekor hewan di alam bebas menentukan apakah ia akan memperoleh cukup makanan atau akan dapat melepaskan diri dari bahaya kematian yang mengancam dirinya. Bagi hewan jantan ke gesitan bergerak banyak menentukan apakah ia akan memperoleh pasangannya untuk kawin.

Bergerak adalah suatu keperluan sebab untuk dapat hidup seekor hewan misalnya harus bernafas. Bernafas memerlukan gerakan membesar-ronga dada agar tekanan negatif di rongga dada makin besar sehingga paru-paru dapat mengembang. Dengan demikian udara dapat dihirup masuk ke paru-paru dan melalui proses selanjutnya tubuh akan memperoleh kebutuhan untuk hidup yaitu oksigen.

Hewan juga harus makan. Mengunyah makanan tidak hanya dilakukan oleh gigi saja, tetapi perlu alat gerak yang dapat menggerakkan gigi-gigi yaitu rahang dan otot-ototnya, agar makanan dapat dihancurkan. Untuk mencari makan, sapi harus mencari rumput, harimau harus mencari binatang buruan dan monyet harus mencari daun-daunan di atas pohon. Untuk ini diperlukan gerakan berpindah tempat, dari satu tempat ke tempat lain.

Jadi sebagai makhluk yang dinamis, selain mengalami pertumbuhan dan perkembangan, hewan juga harus dilengkapi dengan alat gerak. Alat gerak meliputi alat yang menggerakkan bagian-bagian tubuh, jadi merupakan alat gerak secara umum, sedang untuk berpindah tempat dipakai alat lokomosi. Alat lokomosi berfungsi untuk gerakan berjalan, berlari, baik gerakan maju atau mundur. Alat lokomosi pada umumnya disebut anggota badan yaitu sepasang kaki depan dan sepasang kaki belakang.

Dalam kesempatan ini akan dibahas alat lokomosi pada hewan mamalia.

KOMPONEN ALAT GERAK

A

lat gerak umum pada tubuh dibentuk oleh dua unsur yaitu alat gerak pasif dan alat gerak aktif.

1. Alat gerak pasif

Bagian dari alat gerak pasif dibentuk oleh tulang, tulang rawan, ligamentum dan tendo. Tulang dan tulang rawan membentuk kerangka yang berfungsi untuk memberi bentuk pada tubuh, melindungi organ-organ tubuh lunak seperti otak, sumsum tulang belakang dan organ-organ di dalam rongga dada, menjadi tempat bertautnya otot kerangka, serta menjadi tempat yang aman untuk jaringan sumsum merah pembentuk sel-sel darah (Warwick dan Williams, 1973; Carola *et al.*, 1990)

Kerangka bukanlah terdiri dari satu tulang saja, tetapi terdiri dari banyak tulang yang saling berhubungan melalui persendian-persendian. Kuda diketahui mempunyai 205 buah tulang sedang kucing mempunyai lebih banyak tulang yaitu 291 buah. Jumlah tulang tergantung bentuk kepala, jumlah ruas-ruas tulang belakang dan jumlah jari di kaki hewan. (Sisson dan Grossman, 1958; Reighard dan Jennings, 1934).

Tulang rawan terdapat antara lain di ujung-ujung persendian sebagai tulang rawan hialin yang licin permukaannya, terdapat juga di tulang belikat, di ujung distal tulang iga, di hidung, laring, trachea dan di tulang dada (Trautmann dan Fiebiger, 1957).

Persendian dibentuk oleh dua buah tulang atau lebih dan dilengkapi dengan kapsula persendian serta diikat oleh *ligamentum collaterale* yang kuat agar persendian tidak mudah bergeser, terutama waktu sendi digerakkan (Davies, 1981)

Tendo merupakan jaringan yang menghubungkan otot dengan tulang baik di bagian origo maupun di insersio. Tendo juga dapat menyusup ke dalam serat-serat otot sehingga terdapat berbagai bentuk otot, yaitu otot unipenatus,

bipenatus dan multipenatus tergantung dari banyaknya jaringan tendo yang menyusup ke dalam otot. Bahkan di tempat tertentu di dapatkan tendo yang bertaut dari tulang ke tulang misalnya tendo interosseus di metacarpus dan metatarsus pada herbivora, sebagai penahan (Sisson dan Grossman, 1958).

2. Alat gerak aktif

Bagian alat gerak aktif adalah otot kerangka. Dinamakan otot kerangka karena otot ini bertaut di tulang kerangka. Otot kerangka termasuk golongan otot bergaris melintang yang di-inervasi oleh syaraf somato-motoris yang bekerja di bawah kemauan hewan. Golongan otot lain adalah otot polos dan otot jantung yang sifatnya otonom. Otot bekerja dengan cara melakukan kontraksi yaitu dapat memendek dan kemudian ber-relaksasi kembali. Kerja otot ini disebabkan pergeseran filamen aktin dan miosin yang terdapat di dalam sel-sel otot. Pendapat tentang pergeseran otot ini dituangkan dalam "The sliding filament theory of contraction" (DeRobertis *et al.*, 1975). Selain perubahan pada panjang, kontraksi otot juga dapat merubah tonus otot.

Otot kerangka merupakan otot penggerak tubuh utama yang mempunyai bentuk bermacam-macam sebab otot ini bekerja untuk berbagai tipe gerakan. Kontraksi otot pada waktu hewan bergerak akan menghasilkan panas, sehingga otot ikut mengatur suhu tubuh.

Cholvin (1970) menyatakan bahwa pada mamalia dikenal dua macam otot kerangka, yaitu otot merah dan otot putih. Otot merah berwarna merah karena mengandung banyak mioglobin. Mioglobin berfungsi sama seperti hemoglobin, yaitu mengikat oksigen dari kapiler darah. Oksigen ini akan dipakai oleh sitokrom (pigmen respirasi) untuk tenaga bagi kerja otot. Karena mioglobin juga dapat menyimpan oksigen, maka otot merah dapat berkontraksi dalam waktu lama. Sebaliknya otot putih mengandung sedikit mioglobin sehingga berwarna pucat. Untuk memperoleh oksigen, sitokrom tidak dapat menyimpan oksigen, tetapi harus mengambil langsung dari kapiler darah. Oleh karena itu sifat kontraksi otot putih adalah bereaksi cepat, tetapi juga cepat ber-relaksasi serta cepat lelah. Sebagian besar otot hewan mamalia adalah otot merah.

Ada dua macam kontraksi otot, yaitu :

1. Kontraksi isometrik dilakukan oleh otot merah, kontraksinya lama, tanpa merubah panjang. Otot dengan kontraksi isometrik diperlukan sebagai otot penahan, dan menentukan postur tubuh (misalnya tegap atau lunglai).
2. Kontraksi isotonik. Kontraksi yang merubah panjang otot dengan jelas dan disertai tonus otot yang konstan. Otot demikian bertaut teguh di satu sisi dan di sisi lain adalah bertaut di tulang yang dapat bergerak bebas. Jenis kontraksi ini terdapat pada otot gerak misalnya otot-otot kaki.

KELENTURAN TUBUH HEWAN

Melalui teknik pewarnaan histologi menurut Van Gieson pada preparat jaringan tulang yang telah di-dekalsifikasi dapat dilihat struktur mikroskopis jaringan tulang. Serabut kolagen terdapat di matriks interselular. Preparat jaringan ligamentum, tendo dan kulit hewan juga memperlihatkan gambaran serabut-serabut kolagen yang berjalan sejajar dan bersilangan pada kulit, membentuk kumpulan serabut kolagen yang dibungkus oleh peritendonium. Melalui teknik pewarnaan Verhoeff's, dapat dilihat adanya serabut elastin pada preparat *ligamentum nuchae* dan dinding pembuluh darah (Humason, 1967).

Serabut kolagen yang mengisi tulang, ligamentum dan tendo ini merupakan protein kolagen yang bersifat lentur serta tahan terhadap regangan sehingga merupakan bahan yang baik untuk memperkuat tulang, persendian dan pertautan otot. Apabila tendo dan ligamentum ini direbus maka akan mengembang dan membentuk semacam lem atau gel. Daging yang banyak mengandung tendo misalnya daging "shank" (sengkel) sangat cocok dibuat semur, karena kekenyalan tendo-tendonya sangat disukai oleh seluruh anggota keluarga. Ligamentum banyak terdapat di kaki bagian bawah, sehingga menu "sop kaki sapi" serta "gulai tunjang" menjadi kegemaran pengunjung restoran-restoran padang. Kulit sapi juga dapat dibuat kerupuk kulit. Sepatu yang paling kuat adalah sepatu kulit hewan yang telah disamak, sepatu ini tahan terhadap regangan dan lentur sehingga enak dipakai serta mahal harganya.

Serabut elastin dibentuk oleh protein elastin yang bersifat elastis. Berbeda dengan serabut kolagen, *ligamentum nuchae* yang berwarna kuning (bertaut dari *protuberansia occipitalis externa* ke gumba dan berfungsi membantu menopang berat kepala pada waktu hewan menggerakkan leher ke ventral dan dorsal), apabila direbus akan tetap liat dan keras sehingga tidak disukai orang. Demikian pula pembuluh darah besar seperti aorta juga tidak dapat dimakan, karena mengandung serabut elastin.

Dengan adanya serabut kolagen di jaringan tulang, maka tulang adalah organ yang lentur dan tahan terhadap regangan (Hildebrand, 1974; Davies, 1981). Hal ini terbukti dengan adanya beberapa fenomena berikut ini :

1. Tulang sanggup menerima gaya tarik dan tekan selama proses kehidupan tanpa terganggu fungsinya.
2. Tulang dapat menyesuaikan diri terhadap gaya tarik dan tekan dengan terbentuknya garis-garis trayektori dengan arah tertentu pada *substansia spongiosa*. Terjadinya arah garis-garis trayektori ini dapat diterangkan melalui hukum fisika..
3. Tulang tetap dapat tumbuh dan berkembang mengikuti tumbuh dan berkembangnya keseluruhan tubuh serta perkembangan aktivitas tubuh hewan. Hewan yang aktif mempunyai bungkul-bungkul (tuberculum dan tuberositas) yang lebih menonjol dibandingkan hewan yang kurang aktif akibat penyesuaian diri terhadap gaya tarik yang kuat dan terus-menerus dari sebuah otot di tempat tersebut.

Dari uraian tadi dapat disimpulkan bahwa tubuh hewan bersifat lentur karena :

1. Kerangka hewan disusun atas banyak tulang yang membentuk persendian-persendian. Sendi-sendi ini memungkinkan hewan dapat membengkokkan bagian-bagian tubuhnya dan mengembalikannya ke bentuk semula (fleksi dan ekstensi), sehingga tubuh hewan bersifat lentur.
2. Tulang, tendo dan ligamentum sebagai alat gerak pasif mengandung serabut kolagen yang bersifat lentur dan kuat bertahan terhadap daya regang.
3. Otot kerangka adalah organ yang dapat berkontraksi dan ber-relaksasi.

Kelenturan tubuh dapat dibuktikan pada pertunjukan gadis-gadis plastik dan pertunjukan hewan-hewan sirkus. Kucing dan tikus mampu menyusup dan menyelinap melalui celah yang sempit. Monyet ekor panjang dapat berayun-ayun dan berpindah dari dahan ke dahan serta dapat meloncat turun ke tanah tanpa cedera.

KONSTRUKSI TUBUH HEWAN

Alat lokomosi sangat erat berkaitan dengan alat gerak tubuh pada umumnya, sehingga perlu dipelajari konstruksi tubuh hewan terlebih dahulu. Hewan quadrupedal yaitu hewan yang berdiri di atas empat kaki, merupakan hewan yang mudah dipakai contoh. Secara umum tubuh hewan quadrupedal terdiri dari :

1. Sumbu dorsal tubuh dibentuk oleh ruas-ruas tulang punggung dan pinggang beserta *discus intervertebrale*, ligamenta intrinsik dari sendi-sendinya, serta otot-otot epaxial dan hipaxial yang terletak di sepanjang sumbu dorsal ini.
2. Sumbu ventral tubuh dibentuk oleh tulang dada dan *musculus (m.) rectus abdominis* yang bertaut ke *tendo prepubicum* di *symphysis pubis*, beserta *inscriptiones tendinae* dan *linea alba*.
3. Dinding tubuh di rongga dada dibentuk oleh tulang-tulang iga beserta otot-ototnya, sedang di rongga perut dibatasi oleh *m. obliquus abdominis internus* dan *externus* serta *m. transversus abdominis* yang serabut-serabut ototnya saling barlainan arah sehingga menjadi dinding yang kuat.
4. Leher dan kepala beserta otot-otot epaxial dan hipaxial di sepanjang tulang leher, *m. scalenus* dan *ligamentum nuchae*, bertaut pada badan.

Badoux (1975) di dalam bukunya menyatakan bahwa konstruksi tubuh hewan dapat diibaratkan sebagai sistem busur dan tali busur. Sebagai busur adalah sumbu tubuh dorsal dan sebagai tali busur adalah sumbu tubuh ventral. Badoux menyatakan bahwa kerjasama kontraksi otot-otot epaxial dan hipaxial yang saling berlawanan menghasilkan derajat kelengkungan yang berbeda pada sistem busur, sesuai dengan gerakan yang dituju oleh hewan. Busur juga berfungsi untuk menahan berat organ di rongga perut. Sementara itu *m. rectus abdominis* dan komponennya yang membentuk tali busur akan bekerja menahan busur agar tidak terekstensi. Kerja tali busur ini dapat dibuktikan yaitu bila kita lihat hewan yang telah disembelih, maka pada karkasnya terlihat lengkung tulang belakangnya akan terkuak keluar. Hal ini disebabkan otot perut sudah tidak menahannya lagi.

Selain mempertahankan bentuk tubuh kembali seperti semula setelah terjadi gerakan,, tali busur juga berfungsi untuk menahan organ-organ rongga perut agar tidak terperosok ke bawah. Apalagi kalau diingat bahwa herbivora mempunyai lambung dan usus yang sangat besar dan berat.

Hildebrand (1974) menyatakan bahwa ada perbedaan bentuk busur antara hewan yang berukuran kecil (karnivora) dan hewan yang berukuran besar (herbivora). Kebanyakan hewan mamalia kecil mempunyai bentuk busur seperti busur untuk panahan (archer's bow), sedang hewan besar dan juga salamander, buaya dan jenis kadal berbentuk busur seperti stik penggesek biola (violinist's bow). Bentuk busur dari kedua benda tersebut berbeda sifat kelenturannya. Bentuk busur panahan kelihatan lebih lentur bila dibandingkan bentuk busur stik penggesek biola.

Hildebrand menambahkan bahwa terdapat dua buah sistem tali busur pada tubuh hewan, yaitu *ligamentum nuchae* untuk sistem leher dan kepala, *m. scalenus*, *m. rectus abdominis* dan *m. psoas* untuk badan.

Pernyataan Hildebrand ini dapat diamati melalui skema yang dibuat berdasarkan potret film kuda dan cheetah yang sedang berlari pada waktu posisi badan terekstensi dan terfleksi. Dari keterangan ini dapat disimpulkan bahwa sistem tulang belakang kuda lebih kaku dari pada cheetah. Kekakuan sistem punggung dapat diterangkan melalui bentuk sendi-sendi intervertebrale yang mencakup sendi di *corpus vertebrae* dan *processus articularis cranialis* dan *caudalis*.

Pada umumnya sistem di tubuh hewan diusahakan mengikuti hukum maximum-minimum yang artinya memperoleh hasil maximum dari usaha minimum (Hildebrand, 1974; Badoux, 1975; Davies, 1981). Sistem tersebut diantaranya adalah :

1. Di dalam tulang kerangka terdapat rongga . Rongga ini akan membuat tulang menjadi ringan tanpa mengurangi kekuatannya.
2. Tulang-tulang yang pipih bentuknya akan menghemat tempat dan di tubuh akan berfungsi kuat asal mendapat tekanan paralel di sisi pipih . Keadaan

ini sama dengan konstruksi papan pada kuda-kuda atap bangunan. Contohnya adalah tulang belikat dan tulang panggul.

3. Bentuk tulang silindris, disamping sifatnya kuat juga dapat menerima tekanan dari semua arah di kelilingnya. Bentuk ini sebagian besar terdapat di tulang-tulang kaki.
4. Bentuk tulang-tulang yang panjang pada alat lokomosi akan memberi peluang untuk dapat memperoleh langkah yang panjang pula.
5. Letak origo dan insersio otot gerak pada tulang sangat mendukung kerja otot yang bekerja seperti sistem tuas (dongkrak), sesuai hukum Newton, yaitu :

$$\text{Kerja kontraksi otot} \times \text{panjang momen tulang} = \text{tenaga}$$

Makin panjang momen tulang maka makin kecil kerja yang dilakukan otot untuk menghasilkan tenaga yang sama besarnya.

KONSTRUKSI ALAT LOKOMOSI

1. Kaki depan

Kaki depan mempunyai fungsi tidak hanya sebagai alat lokomosi, tetapi juga untuk menahan berat tubuh. Untuk ini maka hubungan kaki depan dan tubuh tidak melalui persendian, tetapi dilaksanakan oleh otot-otot yang seolah-olah berbentuk seperti emban otot yang terpasang pada kedua kaki. Otot-otot tersebut adalah otot isometrik (otot penahan) dan terdiri dari *m. serratus ventralis* yang berorigo di *facies serrata* tulang belikat dan berinsersio di sepanjang pinggir lateral tulang-tulang iga. Emban otot lainnya adalah *musculi pectorales* yang bertaut dari medial lengan atas ke tulang dada. Untuk mencegah penguakan tulang belikat, maka tulang belikat difiksasi oleh *m. rhomboideus* dan *m. trapezius*.

Konstruksi demikian akan menguntungkan karena emban ini bekerja juga sebagai pegas, sehingga guncangan pada waktu hewan berjalan atau meloncat dapat diperhalus. Tergantung pada hewannya, beban kaki depan dalam menyangga tubuh adalah sebesar 55% (kuda) sampai 67% (unta) dari berat badan (Slijper, 1946, dalam Soesetiadi, 1977).

Susunan tulang-tulang kaki depan homolog dengan susunan tulang-tulang tangan manusia, yaitu terdiri dari tulang belikat (*os scapula*, sebagai “pectoral girdle”), tulang lengan atas (*os humerus*), tulang-tulang lengan bawah (*os radius* dan *ulna*), tulang-tulang pergelangan tangan (*ossa carpi*), tulang-tulang telapak tangan (*ossa metacarpi*), tulang-tulang jari (*ossa phalanges I, II, III*) dan *ossa sesamoidea proximales* dan *distales*. Selain tulang belikat dan tulang lengan atas, tulang-tulang yang lain banyak mengalami perubahan baik dalam bentuk maupun jumlah sesuai dengan macam hewannya (Sisson dan Grossman, 1958).

2. Kaki belakang

Kaki belakang juga berfungsi sebagai penyangga tubuh, tetapi tidak seberat tugas kaki depan karena hanya sekitar 45 % dari berat tubuh. Sebagai alat lokomosi, kaki belakang berfungsi lebih banyak untuk menghasilkan tenaga

pendorong tubuh waktu berjalan/berlari dan tenaga lompat. Kaki belakang juga berfungsi sebagai kemudi. Berbeda dengan kaki depan, kaki belakang bertaut dengan badan melalui persendian sacro-iliacum yang bersifat amphiarthrosis, yaitu persendian yang diikat oleh ligamentum pendek sehingga sukar digerakkan, hal ini sesuai dengan tugasnya sebagai pendorong tubuh. Tulang-tulang pembentuk kaki belakang homolog dengan kaki depan, yaitu tulang gelang panggul ("pelvic girdle") yang terdiri dari sepasang *ossa coxae*, tulang paha (*os femur*), tulang tempurung lutut (*os patella*), tulang kering dan betis (*os tibia* dan *fibula*), tulang-tulang pergelangan kaki (*ossa tarsi*), tulang-tulang telapak kaki (*ossa metatarsi*) dan tulang-tulang jari kaki (*ossa phalanges*) serta *ossa sesamoidea proximales* dan *distales*. Seperti halnya kaki depan, jumlah dan bentuk tulang kaki belakang tergantung kepada jenis hewannya dan cara hewan menapakkan kaki ke tanah.

Otot-otot penggerak kaki depan dan belakang adalah otot-otot yang dapat membengkokkan sendi dan dikelompokkan sebagai otot-otot ekstensor, fleksor, aduktor, abduktor, supinator dan pronator.

Karena otot-otot bergerak hanya dalam satu arah saja, sehingga untuk mengembalikan tulang ke posisi semula diperlukan kerja otot lain yang berlawanan, misalnya otot flexor dan extensor. Perhitungan tenaga tonus kedua kelompok otot yang berlawanan tugas tersebut pada setiap tulang harus sama dengan nol untuk mendapatkan keseimbangan tubuh.

Gambaran tentang kerja otot-otot ekstensor dan fleksor dapat diperhatikan pada dua periode proses berlari kuda dan cheetah yaitu pada saat badan diekstensikan dan difleksiikan.

Alat lokomosi kuda adalah yang paling ideal untuk dibicarakan sebab kuda adalah hewan yang dapat tahan berdiri lama. Perhatikan kuda delman yang menunggu penumpang di Pasar Bogor sampai berjam-jam tanpa dilepas dari ikatannya. Tidurlah kuda dapat sambil berdiri. Mengapa demikian?

Kaki kuda baik di kaki depan maupun kaki belakang ditunjang oleh sistem tendo yang tidak ditemukan pada hewan lain. Sistem tendo ini akan membantu kaki depan menahan berat tubuh dan menahan pembengkokan sendi-sendi kaki. Di kaki depan kuda, sistem tendo ini terdapat di *m. serratus ventralis*, *lacertus fibrosus*, tendo otot-otot extensor carpi dan jari, serta *tendo interosseus* dan flexor jari. Di kaki belakang adanya tendo-tendo di *m. tensor fascia lata*, *m. flexor digitalis*, *m. peroneus tertius* dan tendo-tendo *interosseus*, dan extensor jari (Sisson dan Grossman, 1958).

Lain halnya dengan gajah. Gajah adalah binatang yang paling kaku akibat berat badan yang sangat besar, maka keempat kaki harus terletak tegaklurus ke tanah untuk dapat menahan badannya. Tulang gelang panggul terpaksa harus dipasang tegaklurus pula. Akibatnya sistem tuas di otot panggul hanya dapat melakukan tugasnya sekedar untuk berjalan saja, tidak untuk melompat (Slijper, 1946, dalam Soesetiadi, 1977). Oleh karena itu gajah tidak dapat melompat, sehingga kebun binatang cukup hanya membuat parit saja untuk menghindari gajah keluar kandang.

Guru saya pernah bertanya, mengapa untuk berpindah tempat tidak dipakai sistem menggelinding saja? Menggelinding (seperti bola atau roda) hanya memerlukan tenaga sangat sedikit. Di pasar swalayan, belanjaan yang berat jauh lebih ringan bila didorong dengan kereta dorong daripada dijinjing dengan keranjang. Dalam perkembangan dan pertumbuhan bayi, ada saatnya bayi berpindah tempat dengan menggelinding, tetapi hal itu sifatnya hanya sementara saja. Menggelinding seperti mobil? Disini diperlukan dua individu, satu individu sebagai as dan ban serta yang satu individu lagi sebagai badan. Jadi tentunya ada yang ditunggangi dan ada yang menunggangi. Siapa yang mau ditunggangi? Disini diperlukan suatu konsep simbiose, seperti halnya mikroba rumen yang dikacungi oleh induk semangnya. Menggelinding juga menyebabkan otak ikut terguncang. Hal ini sangat bertentangan dengan sistem keseimbangan tubuh yang diperlukan untuk kerja otak. Apakah makhluk yang menggelinding adalah yang tidak memiliki otak? Hal ini perlu dianalisa lebih lanjut.

ADAPTASI ALAT LOKOMOSI

Dunia kita memiliki berbagai macam hewan yang bermacam-macam pula keperluan hidupnya. Selain bentuk badan yang juga beraneka ragam, bentuk alat lokomosinya pun berbeda-beda disesuaikan dengan aktivitas dan keadaan lingkungan hewan. Cara hewan menapakkan kaki ke tanah juga berlainan (Slijper, 1948 dan terjemahannya oleh Muslihun, 1954).

Unguligradi adalah hewan yang menapakkan kuku jarinya ke tanah (L. unguis = kuku).. Termasuk ke dalam golongan ini adalah herbivora yaitu *Perrisodactyla* dan *Artiodactyla* (kuda, sapi, babi, badak, jerapah). Dengan ujung kuku yang menapak ke tanah, maka kaki hewan menjadi maksimal panjangnya, sebab tangan dan kaki direntang ke atas (bahasa Jawa : jinjit). Dengan kaki yang panjang ini diharapkan hewan-hewan herbivora ini sanggup berlari kencang. Sapi dan kerbau selama ini dipandang sebagai hewan bukan-pelari, kecuali sapi/kerbau karapan yang mendapat pemeliharaan dan perlakuan khusus untuk pelari. Jumlah kuku jari kaki yang menapak satu (berkuku ganjil) atau dua (berkuku genap). Kaki kuda hanya bertumpu di kuku jari ke III, sedang sapi di jari III dan IV.

Digitigradi adalah hewan yang menapakkan jari kakinya ke tanah (L. digit = jari), dibantu oleh bantalan jari. Termasuk digitigradi adalah karnivora (bangsa anjing dan kucing). Biasanya jumlah jari lebih banyak, empat atau lima buah. Kuku hewan berbentuk cakar. Tujuan bentuk digitigrad ini masih untuk memperpanjang kaki. Akan tetapi kaki hewan ini dapat dipakai untuk keperluan lain, misalnya untuk mencengkeram mangsa, sebab biasanya kukunya berbentuk cakar. Pertahanan jari tidak sekuat jari kuda, sebab *tendo interosseus* telah berubah menjadi *m. lumbricalis*, yang dapat menggerakkan jari-jari sendiri-sendiri. Kaki depan anjing berjari lima, tetapi jempolnya tidak berfungsi, malahan sering diamputasi oleh pemilknya agar penampilan hewan terlihat lebih baik.

Plantigradi adalah hewan yang menapakkan kakinya pada telapak tangan dan telapak kaki (L. planta = telapak), yaitu mulai dari *ossa carpi/tarsi* sampai ke jari-jari kaki. Jumlah jari biasanya lima buah. Karena bagian kaki yang menumpu ke tanah ini cukup luas, maka kaki ini dapat menumpu berat badan lebih baik.

Hewan-hewan plantigradi adalah beruang, “raccoon”, primata dan manusia. Hewan-hewan demikian dapat berdiri pada kaki belakangnya saja dan memakai kaki depannya untuk pekerjaan lain, misalnya memegang atau memanjat. Disini kaki depan lebih sering disebut tangan.

MUNCULNYA TULANG SELANGKA

Tulang selangka menghubungkan acromion tulang belikat ke sternum. Tulang selangka sebetulnya sudah dimiliki oleh karnivora dan lebih dominan berkembang pada primata. Tulang selangka menyebabkan dada menjadi lebih bidang, tulang belikat menjadi lebih stabil letaknya, lebih banyak otot dapat bertaut, gerakan tangan lebih banyak arahnya (abduksio, aduksio, pronasio dan supinasio), sehingga tangan dapat dipakai untuk berbagai manipulasi gerak. Tetapi akibat lain adalah tangan menjadi kurang baik untuk berlari cepat (Hildebrand, 1974; Goody, 1997; Kent dan Miller, 1997).

Primata dan manusia mempunyai bentuk anatomi tangan yang lebih istimewa. Tulang-tulang telapak tangan (*ossa metacarpi*) lebih memendek dan tulang-tulang jari tangan lebih memanjang. Tendo interosseus berubah menjadi jaringan otot (*m. lumbricalis*). Perubahan memendeknya telapak tangan dan memanjangnya jari-jari tangan ini menyebabkan hewan dapat melakukan gerakan lainnya yaitu menggenggam benda dengan satu tangan. Istilah yang dipakai untuk genggaman tangan ini adalah “power grip”. Selain itu terjadi pula perubahan pada struktur sendi ibujari tangan yang memutar ke dalam, sehingga gerakan ibujari tangan berlawanan arah (“opposable”) dengan jari yang lainnya, terutama jari telunjuk. Hal ini memungkinkan individu melakukan kerja menjepit benda dengan ibujari dan telunjuk (“precision grip”).

Konstruksi sumbu gerak ibujari primata ini merupakan perubahan evolusioner yang berhubungan dengan keterampilan hewan dan manusia dalam menggunakan tangannya. Akibat ibujari yang “opposable”, maka manusia dapat membuat dan menciptakan berbagai hasil kerja seni dan teknologi seperti sekarang ini. Di dalam pengajuan klaim asuransi kecelakaan, nilai jempol tangan adalah yang tertinggi dibandingkan jari yang lain.

Seiring dengan perubahan kaki depan, terjadi pula perubahan kaki belakang. Pada beberapa jenis kera, kaki belakang menjadi setengah tegak (“semi erect”). Beberapa hewan dapat memegang dengan kaki, karena struktur telapak kaki mirip tangan.

Perubahan cara menapakkan kaki ke tanah ini tentu tidak berjalan sendiri, tetapi bersamaan dengan perubahan berbagai organ lainnya di tubuh hewan, sebab pada dasarnya perubahan cara menapakkan kaki ini merupakan akibat perubahan pola hidup mereka. Perubahan bentuk serta fungsi tangan dan kaki ini seiring antara lain dengan munculnya tulang selangka, dan perubahan pada alat penglihatan.

ADAPTASI ALAT PENGLIHATAN

Kuda mempunyai mata yang terletak di samping kepala, dengan lapangan pandang sebesar 80 derajat. Kelinci mempunyai lapangan pandang paling besar yaitu 170 derajat. Hewan-hewan demikian hanya dapat melihat ke samping kiri dan kanan, penglihatan mereka tidak terfokus, yang diutamakan adalah dapat melihat musuh dari samping atau belakang untuk segera dapat melarikan diri. (Prince *et al.*, 1960)

Dengan makin banyaknya variasi kerja tangan hewan, maka letak kedua mata makin mendekat sehingga mata dapat lebih terfokus kepada satu obyek. Hewan-hewan demikian melihat secara binokular. Penglihatan binokular tersebut selain terfokus juga dapat melihat jarak dalam dimensi ruang. Penglihatan ini diperlukan misalnya oleh monyet dan kera yang bergantung di pohon dan berpindah dari dahan ke dahan.

Kucing mempunyai lapangan pandangan sebesar 10 derajat, hampir binokular, tetapi belum sempurna. Untuk mencari daging kecil yang dilemparkan kepadanya, seekor kucing masih belum mampu melihatnya dengan baik, dan masih memerlukan bantuan alat pencium. Perubahan pandangan binokular ini disertai pula pemendekan dari moncong hewan, sehingga makin miri-plah paras wajah monyet dengan manusia !!! (Wessels, 1968; Napier dan Napier, 1985 ; Kent dan Miller, 1997)

PERANAN SISTEM SYARAF

Sistem syaraf terdiri dari sistem syaraf pusat dan perifer. Sistem syaraf pusat adalah otak besar, otak kecil, batang otak dan sumsum tulang belakang, sedang sistem perifer merupakan sistem serabut-serabut syaraf yang menginervasi organ-organ tubuh, termasuk otot kerangka. Sistem syaraf pusat berfungsi sebagai pusat pengontrol tubuh sebab sistem ini menerima rangsangan dari lingkungan luar dan dalam dan kemudian mengolahnya, membuat interpretasi dan kemudian mengambil keputusan apa yang akan dilakukannya menghadapi situasi lingkungan tadi.

Rangsangan lingkungan diterima oleh sejumlah reseptor yaitu pancaindra (eksteroseptor), reseptor di otot, persendian, tendo dan ligamentum (proprioseptor) serta reseptor di alat jerohan (interoseptor). Proprioseptor merupakan indra yang berhubungan dengan alat gerak, yang mendeteksi posisi tubuh. Rangsangan yang diterima reseptor dikirim melalui serabut-serabut syaraf sensoris ke otak dan otak akan mengolah rangsangan ke berbagai nuklei yang ada disana. Hasil olahan otak kemudian diterjemahkan ke dalam bentuk gerakan otot kerangka. Syaraf somato-motoris yang menginervasi otot kerangka datang dari sel-sel pyramidal di area motor *cortex cerebri*. Untuk mencapai otot-otot kerangka, rangsangan syaraf harus terlebih dahulu melalui berbagai "channels" atau nuklei di dalam otak untuk mendapatkan masukan-masukan ("input" dari bagian-bagian otak yang lain seperti basal ganglia, nuklei di batang otak dan otak kecil, sehingga diperoleh perintah untuk membuat gerakan yang terencana ke otot-otot tertentu. Perintah ini disalurkan melalui *tractus pyramidalis* ke sumsum tulang belakang, dan kemudian dilanjutkan ke syaraf perifer menuju ke otot. Rangsangan syaraf akan menyebabkan terjadinya kontraksi otot yang disyarafinya. Alat keseimbangan yang terletak di telinga bertanggung jawab terhadap keseimbangan tubuh secara umum. Otak kecil berfungsi sebagai koordinator gerakan dan mungkin mengawali gerakan cepat, sedang basal ganglia berperan dalam gerakan lambat (Jenkins, 1978; Powers dan Howley, 1990).

Para ahli Universitas McMaster di Ontario Kanada mempelajari otak Albert Einstein dan menemukan adanya ukuran otak 15% lebih besar dari otak orang-

orang biasa. Pembesaran otak ini terdapat di daerah frontal yang berkaitan dengan kemampuan matematis (Harian Kompas).

Adakah hubungan antara kecerdasan dengan ukuran otak ?

Adakah hubungan antara keterampilan menggunakan tangan dengan ukuran otak? Sebetulnya bagaimana cara mengukur kecerdasan hewan? Telah banyak diketahui bahwa kuda adalah hewan yang sangat pandai, demikian pula anjing. Apalagi kalau melihat tingkah monyet, banyak yang mengatakan seperti orang. Sementara itu ada yang mengatakan bahwa chimpanzee adalah hewan yang paling pandai. Suatu kenyataan apabila kita bandingkan otak-otak hewan-hewan yang telah dibicarakan tadi, terdapat perbedaan dalam ukuran dan bentuk otak. Makin besar otak makin pandai dan beragam mereka dapat menggunakan alat geraknya, terutama alat lokomosinya, kaki dan tangannya.