Perbandingan Tulang dan Lokomosi pada Quadrupedal dan Bipedal

Arif Wicaksono¹, Sasanthy Kusumaningtyas²

¹Departemen Anatomi Medik, Program Studi Pendidikan Dokter, FK UNTAN

²Departemen Anatomi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

Abstrak

Latar belakang. Antropologi masih memperlihatkan ketertarikan dalam membandingkan struktur skeletal dan lokomosi antara manusia dan primata. Manusia dikatakan berkembang menjadi bipedal karena proses evolusi ribuan tahun dari primata. **Metode.** Penelitian ini membahas perubahan anatomi yang terjadi pada quadrupedal dan bipedal secara umum kemudian mengkhususkan pada anatomi skeleton appendiculare, komparasinya dan hubungannya dengan lokomosi. **Hasil.** Terdapat perbedaan pada beberapa detil tulang antara bipedal dan quadrupedal. **Kesimpulan.** Bentuk tulang pada manusia bipedal dan primata quadrupedal mirip tetapi terdapat perbedaan pada ukuran dan bentuk dari skeleton appendicularnya yang menyebabkan perbedaan pembagian/penerusan beban, perbedaan lokomosi dan perbedaan energi yang diperlukan untuk melakukan lokomosi.

Kata Kunci : Lokomosi, quadrupedal, bipedal

Background. There was still an interest in comparing skeletal structure and locomotion of human and primate. **Method.** This research aimed to determine anatomical changes happened to quadrupedal and bipedal, especially on appendiculate skeletons, the comparison and the relation to locomotion. **Result.** There was a difference on some details of skeletons in quadrupedal and bipedal. **Conclusion.** The skeletons in quadrupedal and bipedal are similar but different in the size and shape of its appendiculate skeletons, causing the difference in weight bearing and locomotion.

Key words : Locomotion, quadrupedal, bipedal

PENDAHULUAN

Pertanyaan yang paling lama ditanyakan pada kita dan disiplin ilmu anatomi bahkan pada masyarakat adalah bagaimana dan kenapa manusia berjalan dengan dua kaki (bipedal). Para paleoanthropologis setuju bahwa bipedal merupakan adaptasi dari hominin tetapi belum ada persetujuan awal transisi menjadi bipedal. Banyak hipotesis yang telah diajukan untuk asal mula bipedal seperti kebiasaan dan bentuk penyusun lokomosi. Penelitian kemudian dilakukan untuk melihat perubahan dari leluhur sebelumnya dan bipedal awal, taksonomi, fosil dan teori-teori yang sudah ada¹.

Antropologi masih memperlihatkan ketertarikan dalam membandingkan struktur skeletal dan

lokomosi antara manusia dan primata. Manusia dikatakan berkembang menjadi bipedal karena proses evolusi ribuan tahun dari primata. Banyak penelitian dilakukan untuk melihat dua tipe lokomosi yaitu bipedal pada manusia dan quadrupedal pada primata untuk melihat tipe tulang dan tipe lokomosi yang dilakukan. Penelitian menunjukkan bahwa struktur tulang mempengaruhi efisiensi tenaga dan jenis lokomosi. Struktur tulang pada manusia dan primata memang mirip tetapi ada beberapa perbedaan pada bentuk dan ukuran tulang yang mempengaruhi lokomosi².

METODE

Penelitian ini akan membahas perubahan anatomi yang terjadi pada quadrupedal dan bipedal secara umum kemudian mengkhususkan pada anatomi skeleton appendiculare,

komparasinya dan hubungannya dengan lokomosi.

HASIL

Skeleton Appendiculare

Skeleton appendiculare terdiri dari sepasang tungkai dan korset. Pada quadrupedal disebut tungkai depan dan tungkai belakang sedangkan pada bipedal disebut dengan tungkai atas dan bawah.

Korset pada tungkai depan disebut korset bahu atau korset dada sedangkan korset pada tungkai belakang disebut dengan korset pinggul atau korset pelvis.

Vertebrata memiliki karakteristik ini dan dikatakan bahwa sirip pada ikan akan menjadi tungkai pada mamalia³.

Evolusi bipedal

Evolusi yang terjadi mencakup tiga hal yaitu perubahan volume otak, perubahan lokomosi dan perubahan budaya. Pada quadrupedal volume otak relatif kecil sedangkan pada bipedal volume otak membesar. Quadrupedal ada yang hidup di pepohonan dan sesekali turun ke darat sedangkan bipedal hidup di darat⁴.

Adaptasi Bipedal

Perubahan dari quadrupedal menjadi bipedal tampak dari segi anatomis tulang-tulang penyusun lokomosi. Perubahan yang terjadi adalah :

1. Perubahan posisi foramen magnum. Quadrupedal memiliki foramen magnum di belakang cranium yang menyebabkan kepala lebih tidak stabil sehingga

- membutuhkan otot-otot leher yang besar. Bipedal memiliki foramen magnum di dasar cranium sehingga lebih stabil.
2. Perubahan curva spinalis. Quadrupedal menumpu berat badan sepanjang garis paralel terhadap tanah dan beban akan diteruskan ke dua tungkai. Bipedal memiliki lengkung spinalis sehingga berat tubuh akan lebih terkonsentrasi di daerah lumbal kemudian diteruskan ke tungkai bawah saja.
 3. Perubahan tungkai. Tungkai bawah pada quadrupedal tidak sampai 20% dari panjang tubuh sedangkan tungkai bawah pada bipedal mencapai lebih dari 30% panjang tubuh.
 4. Perubahan pelvis. Pelvis pada quadrupedal panjang dan pipih sehingga kurang stabil sedangkan pada bipedal elvis pendek dan luas sehingga stabil dan dapat memudahkan transmisi berat/beban.
 5. Perubahan posisi femur. Femur pada bipedal lebih mengarah ke medial, membentuk sudut yang lebih besar dibandingkan dengan quadrupedal sehingga memperluas gerakan yang diperlukan.
 6. Perubahan pada kaki. Pada quadrupedal jarak ibu jari kaki dan jari lainnya jauh seperti pada tangan dan tidak memiliki lengkung kaki. Bipedal memiliki ibu jari kaki yang tersusun paralel dengan

jari lainnya dan memiliki lengkung kaki⁴.

Lokomosi quadrupedal dan bipedal

Dua perbedaan secara khusus pada bidang lokomosi adalah kebiasaan sehari-hari spesies tersebut dan struktur tulang yang menyusun yang memungkinkan jenis lokomosi. Manusia merupakan mamalia dengan kebiasaan bipedal yang menggunakan tungkai bawah secara dominan untuk bergerak terhadap lingkungannya. Kebanyakan primata merupakan mamalia quadrupedal yang menggunakan semua tungkainya untuk bergerak terhadap lingkungannya².

Lokomosi bipedal memiliki dua jenis lokomosi utama yaitu

berjalan dan berlari. Berjalan membutuhkan setidaknya satu kaki harus kontak secara terus menerus dengan tanah sedangkan untuk berlari kedua kaki bisa tidak mengalami kontak dengan tanah dalam waktu singkat secara simultan. Bipedal mengalami beberapa adaptasi seperti spesifikasi postcranial terutama pada tungkai bawah yang membentuk lokomosi unik. Perbedaan antara quadrupedal dan bipedal banyak ditemukan di daerah kaki tetapi beberapa perbedaan bisa juga ditemukan di daerah pelvis dan femur².

Lokomosi quadrupedal banyak ditemukan pada beberapa mamalia termasuk primata. Tipe lokomosinya merupakan berjalan dengan sekuens lateral tidak seperti berjalan dengan sekuens diagonal seperti pada bipedal. Berjalan pada primata

sedikit berbeda dengan berjalan/bergeraknya mamalia lain. Primata quadruedal mengekstensikan tungkainya jauh ke arah depan, mengarahkan tungkai depan lebih ke arah kepala tergantung pada kebiasaan mereka saat itu, apakah berada di pohon atau berada di darat².

Penelitian Richmond dkk mengkaji kemungkinan bipedal dari beberapa pendahulu/leluhur yaitu :

1. Leluhur arboreal.
Quadruedal, membawa berat tubuh mendekati penyangga, dapat melakukan gerakan bebas pada sendi siku dan lutut, gerakan terbatas pada sendi bahu dan pelvis, berukuran tubuh relatif kecil dan tungkai depan dikatakan merupakan calon bipedal.

2. Leluhur hylobatian.
Quadruedal dengan tipe brachiasi, memiliki tungkai belakang relatif panjang dan tungkai depan yang panjang. Gerakan sedang pada sendi lutut dan pelvis. Badan kecil dengan jari-jari yang panjang dan berkurva.
3. Leluhur quadruedal darat.
Quadruedal dengan tipe digitigrady (penyokong jari) atau palmigrady (penyokong tangan/palmar). Sendi tangan, siku dan kaki stabil dengan jari kokoh, pendek dan lurus. Berbadan sedang
4. Leluhur knuckle-walking.
Quadruedal dengan penyokong phalanges media, sendi tangan dan siku stabil dengan thorax yang lebar¹.

PEMBAHASAN

Anatomi komparatif

Anatomi yang akan dikomparasikan antara lain:

1. Radius
2. Spatium carpometacarpalia
3. Femur
4. Humerus

hylobates, pongo, gorilla, pan, homo, P.heselsoni, A. anamensis, A. afarensis, A. africanus dan P. robustus diteliti sehingga didapatkan perbedaan pada os radius dan spatium carpometacarpalia¹.

Pada radius terdapat proyeksi distal. Proyeksi distal ini akan

Gambar 1. Proyeksi Distalis radii pada fosil dalam penelitian

Panah menunjukkan proyeksi distalis¹.

Pada komparasi radius dan spatium carpometacarpalia digunakan tulang/fosil dari primata quadrupedal kemudian dibandingkan dengan homo bipedal. Fosil dari alouatta, papio, erythrocebus,

memberi perlekatan pada tulang-tulang carpal sehingga mengakibatkan articulatio radiocarpeae akan lebih stabil. Proyeksi ini hanya ditemukan pada leluhur knuckle-walking dan

pada *A. Anamensis* dan *A. Afarensis*¹

Spatium carpometacarpalia adalah ruang antara tulang-tulang carpal dan tulang-tulang metacarpal. Pada homo dan pan spatium ini terlihat jelas. Semakin luas spatium ini maka pergerakan sendi akan semakin fleksibel dan memungkinkan beberapa gerakan

terjadi tidak hanya sebagai lokomosi atau penyangga tubuh saja¹.

Penelitian Danielson membandingkan antara permukaan sendi proksimal femur dan humerus manusia bipedal dan primata quadrupedal. Pada penelitian ini ukuran caput femoris dan caput humeri pada *Homo sapiens* dibandingkan dengan dua primata

Homo

Pan

Pongo

Papio

Gambar 2. Tulang carpal dan metacarpal pada beberapa fosil¹

berbeda yaitu *Cercocebus torquatus* dan *Cercocebus albigena*. Tulang akan dipindai menggunakan komputer, dihitung kemudian dibandingkan menggunakan analisis statistik².

Rasio antara permukaan sendi pada caput humerus dan caput femoris pada *H. Sapiens* berbeda dengan primata. *C. torquatus* dan *C. Albigena* memiliki rasio yang serupa tetapi rasio tersebut lebih kecil dibandingkan pada *H. Sapiens*. Besarnya perbedaan pada permukaan sendi menunjukkan perbedaan permukaan sendi femoral yang jauh lebih besar daripada permukaan sendi humeral².

Ukuran pada permukaan sendi ditemukan lebih besar pada manusia daripada primata. Perbedaan ini dimungkinkan karena lebih banyak beban yang diteruskan ke sendi

femoral dibandingkan dengan sendi humeral pada manusia yang menggunakan lokomosi bipedal. Quadrupedal akan meneruskan beban secara relatif sama ke keempat tungkainya pada lokomosi quadrupedal. Semakin seimbang pembagian beban maka relatif ukuran tulang dan permukaan sendi yang menopang akan sama².

Manusia menggunakan 2 sendi utama untuk lokomosi sehingga secara energi akan lebih efisien daripada lokomosi quadrupedal primata. Manusia merupakan mahluk bipedal yang menitikberatkan beban lebih banyak ke daerah femur daripada menitikberatkan beban pada daerah femur dan humerus seperti primata quadrupedal².

Primata quadrupedal perlu menggunakan 4 sendi utama untuk lokomosi sehingga energi yang

dibutuhkan akan lebih besar dan permukaan sendi baik femoral maupun humeral akan relatif sama pada primata quadrupedal².

perbedaan pembagian/penerusan beban, perbedaan lokomosi dan perbedaan energi yang diperlukan untuk melakukan lokomosi.

KESIMPULAN

Banyaknya teori yang berkembang mengenai asal usul bipedal dicoba dikaji menggunakan fosil-fosil untuk melihat hubungan anatomi yang terjadi dan sekarang diusulkan bahwa teori yang paling mendekati adalah leluhur quadrupedal arboreal dan leluhur knuckle-walking. Hal ini dilihat dari anatomi tangan dan kaki saat di darat, bentuk sokongan dan anatomi pergelangan tangan dan manus

Bentuk tulang pada manusia bipedal dan primata quadrupedal mirip tetapi terdapat perbedaan pada ukuran dan bentuk dari skeleton appendicularnya yang menyebabkan

DAFTAR PUSTAKA

1. Richmond BG, Begun DR, Strait DS. Origin of Human Bipedalism: The Knuckle-Walking Hypothesis Revisited. *YEARBOOK OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY*(2001). 44:70–105. New York. 2001
2. Danielson K. A comparative look at the energetic efficiency of bipedal locomotion in humans versus quadrupedal locomotion in primates: measurements of femoral and humeral proximal head articular surface. University at Albany Honors College. (Thesis). New York. 2012
3. Kardong KV. *Vertebrates*. 5th Ed. McGraw-Hill:Singapore;2009
4. Jurmain R, Kilgore L, Trevathan W, Ciochon RL. *Introduction to Physical Anthropology*. 11th Ed. Thomson:California;2008