



Hubungan Migrasi Perlekatan Otot pada Tulang Panjang dengan Perubahan Panjang Tulang dan Volume Otot pada Perlakuan Bipedal selama Pertumbuhan

Correlation between Migration of Muscle Attachment at Long Bone and the Change of Bone Length and Muscle Volume on Bipedal Treatment During Growth

H. Ardiyan Boer

Department of Anatomy, Faculty of Medicine, TRISAKTI UNIVERSITY, Jakarta

KATA KUNCI Migrasi; perlekatan otot; perlakuan bipedal selama pertumbuhan
KEYWORDS Migration; muscle attachment; bipedal treatment; bone growth

ABSTRAK Dalam penelitian ini diselidiki hubungan antara migrasi perlekatan otot pada tulang panjang dengan penambahan beban dengan perlakuan bipedal selama pertumbuhan. Sebagai hewan percobaan dipakai 150 ekor tikus jantan (*Rattus norvegicus*) strain Lembaga Makanan Rakyat Departemen Kesehatan Republik Indonesia, berumur 6 minggu dan dengan berat rata-rata 70 gr. Perlakuan dibeikan selama 6 bulan. Secara randomisasi hewan percobaan dibagi atas beberapa kelompok, yaitu kelompok Wo pemasangan kawat penunjuk pada corpus tulang, kelompok kontrol sebanyak 60 ekor tikus, sebagai kelompok pembanding, kelompok bipedal sebanyak 60 ekor tikus dan mendapat penambahan berat badan secara bipedal pada tulang. Pada semua kelompok dipasang kawat penunjuk pada pertengahan corpus femoris dan corpus tibiae. Selama perlakuan, hewan percobaan dibiarkan hidup bebas dalam kandang selama 2 sampai 6 bulan, tikus diberi makan dan minum ad libitum. Pada tiap-tiap kelompok, 30 ekor tikus dikorbankan pada waktu 2 bulan dan 6 bulan sesudah perlakuan. M. Gluteus maximus, M. Pectineus, M. adductor brevis, M. adductor magnus dan M. aastrocnemius yang melekat pada femur, dan M. rectus femoris, M. semimembranosus, M. gracilis, M. semitendinosus dan M. tibialis anterior yang melekat pada tibia dipotong dan diukur volumenya serta diukur jarak perlekatannya secara absolut dan secara proporsional terhadap jarak dari kawat penunjuk ke ujung tulang. Femur bagian proximal, femur bagian distal dan tibia bagian proximal diukur panjangnya terhadap kawat penunjuk. Dicari korelasi antara selisih panjang tulang dan volume otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan dengan selisih jarak absolut (migrasi absolut) dan selisih jarak proporsional (migrasi proporsional) perlekatan otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan. Hasil yang didapat dari penelitian ini memberikan gambaran bahwa perlakuan bipedal ada korelasi antara migrasi perlekatan otot dengan perubahan panjang tulang selama pertumbuhan, tetapi tidak ada korelasi dengan perubahan volume otot. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa ada korelasi selama pertumbuhan, yang berdasarkan pada unsur tulang.

ABSTRACT *This study was aimed to recognize the correlation between migration of muscle attachment on long bone and the change of bone length and muscle volume in a bipedal treatment during bone growth. A number of 150 male rats (*Rattus norvegicus*) were used as experimental animal. Randomly, the experimental animal were divided into three groups (1) the first group consisted of 30 rats, were used to examine the anatomical structure of the rats, and the accuracy of placing metal pins of muscles and of the bone shaft, (2) the control group (60 rats), and (3) the bipedal group (60 rats) were given increased muscular activity by overload bipedal treatment. Metal pins were implanted in the middle of the femoral and the tibial bone shaft, and 30 rats (the first group) were directly sacrificed. Every 2 months and 6 months following treatment, the bipedal and the control group were sacrificed. Five muscle wick were attached on the femur and on the tibia were cut and their volumes, absolute distance and proportional distance of their attachment to the metal pins, and to the length of the bone were measured. It was found that in the bipedal rats, a change of bone length was detected. Whereas none in the control group. The change of long bone was correlated with the migration of the attachment of the muscle. In the treated group, muscle volume differed compared to that in the control group. However the difference of the muscle volume was not correlated with the migration of the muscle attachment correlated during bone growth. In conclusion, there was a convincing correlation between the migration of the muscle attachment and the change of bone length in bipedal group during bone growth.*

Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan apakah unsur tulang dan otot berperan dalam mengatur posisi bangunan-bangunan lunak terhadap tulang (Grant, 1978; Grant and Hawes, 1977). Haines (1932) mengatakan bahwa dalam perkembangan otot terjadi pergeseran atau perpindahan origo dan insersi otot, yang disebut fenomena perpindahan otot atau migrasi otot, tetapi ia tidak meneliti lebih lanjut mengenai migrasi otot. Pendapat tersebut didukung oleh beberapa penemuan yang dilakukan peneliti-peneliti sesudahnya dan disimpulkan bahwa selama dalam masa pertumbuhan otot dan tulang, terjadi migrasi perlekatan otot sepanjang tulang, dengan kedudukan relatif konstan (Grant, 1978; Grant and Hawes, 1977; Videman, 1970a; Videman, 1970b; Videman, 1970c). Beberapa aspek pertumbuhan otot dan tulang telah lama dan banyak diteliti orang. Sebaliknya penelitian mengenai unsur-

unsur yang mempengaruhi proses migrasi perlekatan otot pada tulang panjang dan faktor-faktor yang mengatur proses migrasi tersebut, baru sedikit sekali dan masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Masalah yang berkaitan dengan unsur-unsur muskuloskeletal yang terdiri atas unsur tulang, otot, tendo, ligamentum, dan periosteum, dengan migrasi perlekatan otot pada tulang selama pertumbuhan belum banyak diketahui. Mengingat luasnya permasalahan yang menyangkut unsur-unsur dalam mempengaruhi migrasi perlekatan otot pada tulang dan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan terdahulu dalam bidang tersebut, penelitian ini hanya mem-

Correspondence:

Dr. dr. H. Ardiyan Boer, SHhK, Department of Anatomy, Faculty of Medicine, TRISAKTI UNIVERSITY, Jakarta, Jalan Kyai Tapa, Grogol, Jakarta Barat 11440, Telephone 021-5672731, 5655786, Facsimile 021-5660706

bahas unsur otot dan tulang. Berdasarkan hasil studi kepustakaan, belum ada penelitian-penelitian yang mengaitkan penambahan beban yang menyebabkan perubahan panjang tulang, dengan migrasi perlekatan otot pada tulang selama pertumbuhan. Oleh karena itu penelitian ini memilih masalah kaitan migrasi perlekatan otot pada tulang panjang selama pertumbuhan dengan perlakuan bipedal sebagai penambahan beban (Howell, 1917; Hughes, 1956; Grant, Buschang and Drolet, 1978).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting dalam bidang anatomi, khususnya dalam usaha memperjelas dan mempertegas kaitan beberapa unsur muskuloskeletal dengan migrasi perlekatan otot pada tulang panjang selama pertumbuhan, serta kemungkinan dijumpainya hal-hal baru tentang perubahan-perubahan yang terjadi pada proses pertumbuhan otot dan tulang yang berpengaruh dalam proses migrasi perlekatan otot selanjutnya (Davies *et al.*, 1964; Evans, 1953; Goff and Landmesser, 1956).

Penelitian ini akan mengungkapkan atau mengaitkan faktor-faktor non-alamiah, yaitu penambahan beban yang diduga secara langsung dapat mempengaruhi pertumbuhan tulang dan otot, dengan migrasi perlekatan otot pada tulang selama pertumbuhan.

Selama dalam masa pertumbuhan, tulang panjang mamalia bertambah panjang, yang disebabkan oleh penambahan bahan tulang pada ujung-ujung tulang. Bahan tulang tersebut dihasilkan oleh aktivitas *cartilago epiphysialis*. Bangunan-bangunan lunak yang melekat pada tulang yakni otot, tendo, dan ligamentum mengalami perubahan dalam panjangnya selama pertumbuhan dengan cara tumbuh secara interstitial (Ham and Cormack, 1979; Junqueira *et al.*, 1980).

Otot, tendo, dan ligamentum yang melekat pada tulang mempertahankan hubungannya secara relatif konstan terhadap

ujung tulang selama pertumbuhan. Perlekatan bangunan lunak itu pada *diaphysis*, dan seandainya selama pertumbuhan tulang keadaan ini tidak diikuti dengan migrasi atau pergeseran bangunan lunak tersebut berangsur-angsur ke arah ujung tulang, maka bangunan lunak ini akan tetap melekat di bagian sentral korpus tulang (Grant *et al.*, 1978).

Ditinjau dari pertumbuhan sistem muskuloskeletal, dapat dikatakan bahwa selain faktor genetik dan hormonal, ada peranan unsur-unsur yang berasal dari tulang, otot, tendo, dan beban serta aktivitas (Warwick and Wiles, 1934; Weinman *et al.*, 1955). Perlekatan tendo otot merupakan komponen penting dalam sistem muskuloskeletal, karena tendo otot berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang bekerja pada otot ke tulang yang berperan sebagai titik tangkap. Proses migrasi perlekatan otot selama pertumbuhan sebagai bagian dari pertumbuhan sistem muskuloskeletal, diduga unsur-unsur tulang, otot beserta tendonya berfungsi dalam menahan beban dan melakukan aktivitas (Crawford, 1950; Crawford, 1954).

Seperti telah disebutkan di atas, tidak ditemukan perubahan derajat perlekatan otot pada tulang dengan cara peniadaan unsur tulang dan unsur otot. Cara peniadaan itu menurut peneliti kurang tepat, karena merusak *cartilago epiphysialis*. Tulang tidak tumbuh dan otot yang didenervasi tidak tumbuh, sehingga dapat dikatakan tidak ada proses pertumbuhan (Nilsson *et al.*, 1987). Oleh karena itu pada penelitian ini memakai percobaan penambahan beban, karena di sini proses pertumbuhan struktur-struktur tetap berlangsung sehingga penilaian derajat migrasi lebih tepat (Lanyon and Baggot, 1976; Riesenfeld, 1966; Riesenfeld, 1972; Riesenfeld, 1974; Simon, 1977, 1978; Warrel and Taylor, 1979).

Dengan melakukan amputasi di atas siku anggota depan tikus yang berumur

antara 18 dan 36 sesudah lahir, didapat hasil yang menunjukkan bahwa *femur* dan *tibia* tikus bipedal lebih pendek ukurannya dibanding dengan pada kelompok kontrol. Pada tikus dalam masa pertumbuhan dilakukan amputasi tungkai depannya oleh Riesenfeld (1966) dan setelah beberapa minggu didapat hasil bahwa *femur* lebih pendek daripada *tibia*. Ushikubo (1959) dan Riesenfeld (1966) melakukan cara yang sama dan mendapatkan hasil bahwa akibat perlakuan bipedal *femur* dan *tibia* tikus bipedal lebih panjang dibanding dengan pada kontrol. Percobaan penelitian pendahuluan peneliti pada mencit (*Mus musculus*) yang dibuat bipedal, didapat hasil bahwa *femur* dan *tibia* lebih panjang dibanding dengan pada kelompok kontrol (Boer, 1980; Adam and Eddy, 1949; Carter and Hayes, 1976; Chor and Dolkart, 1939; Colton, 1929).

Jenis penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental.

Subyek penelitian

Sebagai hewan percobaan dipakai 150 ekor tikus jantan (*Rattus novogicus*) dari Strain Albino Lembaga Makanan Rakyat, yang didapat dari Bagian Gizi Departemen Kesehatan Republik Indonesia, berumur 6 minggu dengan berat rata-rata 70 gram.

Penelitian menggunakan tikus jantan untuk menghindarkan kemungkinan pengaruh siklus *estrus* pada pertumbuhan tulang dan otot (Ihemelandu, 1981), dan tikus berumur 6 minggu karena tikus pada umur tersebut sudah berhenti menyusu dari induknya dan kemungkinan mortalitas karena operasi rendah dan secara fungsional otot sudah matang dan perlakuan diberikan selama 6 bulan yakni sampai tikus berumur 7,5 bulan, karena pada umur lebih kurang 6 bulan *cartilago epiphysialis* pada *femur* dan *tibia* telah menulang.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian menggunakan Nembuthal dan Penthotal sebagai bahan pembius dalam melakukan operasi pemasangan kawat penunjuk pada kelompok bipedal.

Alat-alat yang digunakan adalah set alat operasi kecil (*minor-surgery*), gelas ukur merek *Duran Schott Mainz* dengan ketelitian sampai 0,2 ml, untuk mengukur volume otot, kaliper geser merek *Schlieper* dengan ketelitian sampai 0,02 ml untuk mengukur panjang tulang dan jarak perlekatan otot, kawat *Stainless Steel* yang dipasang pada *corpus femoris* dan *corpus tibiae* untuk penunjuk jarak, set alat untuk membuat preparat histologis, dan set alat pemotret untuk membuat gambaran mikroskopis.

Tabel 1. Distribusi sampel yang dipakai pada penelitian hubungan migrasi perlekatan otot pada tulang panjang dengan perlakuan bipedal selama pertumbuhan

Kelompok	W0	Kontrol	Bipedal
Lama percobaan	30		
2 bulan		30	30
6 bulan		30	30
Jumlah	30	60	60

Ket: W0 = kelompok tikus yang digunakan untuk mengetahui anatomi tikus dan ketepatan pemasangan kawat penunjuk pada femur dan tibia pertengahan tulang paha dan tulang kering

Kontrol = kelompok tikus sebagai kontrol (tidak ada perlakuan)

Bipedal = kelompok tikus yang dibuat bipedal, dengan melakukan amputasi kaki depan

Metode penelitian ini merupakan studi *cross sectional* berupa penelitian laboratorium.

Cara dan pelaksanaan penelitian

Semua hewan percobaan dibiarkan hidup dalam kandang ukuran panjang 90 cm, dan tinggi 30 cm, untuk 10 ekor tikus selama 2 sampai 6 bulan sesudah perlakuan. Tikus diberi makanan 521 dan ditambah dengan jagung yang sudah ditumbuk agak halus sebanyak 100 gram perhari untuk setiap 10 ekor tikus serta minum *ad libitum*.

Setiap hewan percobaan yang akan diperlakukan, diberi suntikan Nembuthal atau Pentotal sebanyak 0,2 ml per 50 gram berat badan, secara *intraperitoneal*.

Pertengahan *corpus femoris* dan *corpus tibiae* dibuat lubang dengan bor dan dimasukkan kawat *stainless steel* yang diikatkan pada *femur* dan *tibia* hewan percobaan tersebut sebagai tanda penunjuk. Pemasangan ini dilakukan dengan cara operasi dengan memperhatikan sterilitas. Untuk menentukan letak pertengahan *corpus femoris*, *corpus tibiae*, mula-mula dilakukan perabaan pada bagian ujung *proximal* dan ujung *distal femur* dan *tibia*. Pada *femur* dicari *trochanter major* di bagian ujung *proximal femur* dan *condylus lateralis femoris* di bagian ujung *distal*. Pada *tibia* dicari tepi *condylus medialis tibiae* di bagian ujung *proximal tibia* dan *malleolus medialis* di bagian *distal tibia*. Dengan menggunakan kaliper geser diukur jarak antara titik-titik tersebut dan ditentukan pertengahan jarak tersebut pada *corpus femoris* dan *corpus tibiae*.

Sesudah kawat penunjuk dipasang, khusus untuk kelompok I hewan percobaan dikorbankan seketika dan kelompok ini berguna selain untuk melihat anatomi secara keseluruhan juga untuk melihat ketepatan pemasangan kawat penunjuk.

Kelompok II, sesudah pemasangan kawat penunjuk, hewan percobaan dibiarkan

hidup tanpa mendapat perlakuan apa-apa dan kelompok ini dijadikan kelompok kontrol.

Kelompok III, dilakukan dua macam operasi. Pertama, operasi pemasangan kawat penunjuk pada pertengahan *corpus femoris* dan *corpus tibiae*. Kedua, operasi pemotongan kedua tungkai depan tikus untuk percobaan penambahan pembebanan dengan perlakuan bipedal. Pemotongan tungkai depan tikus dilakukan pada pangkalnya dengan cara operasi dengan memperhatikan sterilitas. Untuk kelompok bipedal, letak tempat makan dan minum agak ditinggikan, agar tikus percobaan terbiasa atau membiasakan dirinya berdiri pada kaki belakangnya, sehingga betul-betul tungkai belakang menampung seluruh beban berat badan.

Semua hewan percobaan dibiarkan hidup selama 2 bulan sampai 6 bulan, bebas dalam kandang dengan makan dan minum *ad libitum*. Tiap-tiap kelompok, 30 ekor tikus dikorbankan pada waktu 2 bulan dan 6 bulan sesudah perlakuan, dengan maksud dapat dilihat perkembangan perubahan yang terjadi pada panjang tulang, volume otot dan migrasi perlekatan otot selama pertumbuhan tulang.

Semua hewan perlakuan setelah dikorbankan, otot-otot yang melekat pada *femur*, yaitu *m.gluteus maximus*, *m.pectineus*, *m.adductor brevis*, *m.adductor magnus*, *m.gastrocnemius*, dan otot-otot yang melekat pada *tibia* yaitu *m.rectus femoris*, *m.semimembranosus*, *m.gracilis*, *m.semitendinosus*, dan *m.tibialis anterior* dilepaskan, kemudian diambil dengan dipotong dengan meninggalkan pankal insersinya sepanjang 0,3 cm dan dimasukkan dalam *Bouin Holland* untuk selanjutnya diukur volumenya.

Sesudah itu dari semua hewan perlakuan, kedua *femur* dan *tibia* dipisahkan dari badan hewan, dengan cara pemotongan dan pemisahan *articulatio coxae* dengan hati-hati. Kemudian dipisahkan *femur* dan *tibia*

dengan mengadakan pemotongan dan pemisahan dari *articulatio genus*.

Selanjutnya kedua *femur* dan *tibia*, pada tiap kelompok dimasukkan dalam larutan *Bouin Holland* dalam tempat-tempat yang terpisah. Pada penelitian dipakai larutan *Bouin Holland* yang sekaligus dipakai untuk fiksasi perlekatan otot. Tiap-tiap *femur* dan *tibia* dilihat ada tidaknya deformitas, dan apabila ada deformitas dicatat dan dimasukkan dalam kelompok tersendiri dan tidak dimasukkan dalam perhitungan statistik. Selanjutnya dilakukan pengukuran panjang *femur* bagian *proximal*, *femur* bagian *distal*, dan *tibia* bagian *proximal* serta jarak perlekatan otot-otot terhadap kawat penunjuk yang dipasang pada *corpus femoris* dan *corpus tibiae*.

Sesudah dilakukan pengukuran panjang *femur* bagian *proximal*, *femur* bagian *distal*, dan *tibia* bagian *proximal* serta jarak perlekatan otot, diambil bagian perlekatan *m.pectineus* dan *m.rectus femoris* pada tulang dan diperiksa secara mikroskopis. Pembuatan preparat dilakukan dengan metode parafin dan dibuat potongan hampir sejajar dengan sumbu panjang tulang dan tebal irisan preparat 6 mikron dan dipulas dengan pewarnaan *Mallory Azan*.

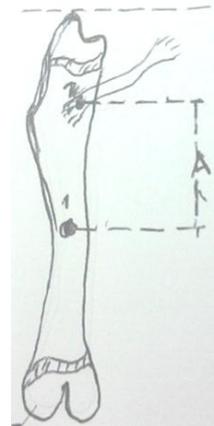
Analisis pengujian kebenaran penelitian

Variabel-variabel yang digunakan untuk pengujian penelitian ini, pada perlakuan 2 bulan dan 6 bulan meliputi ukuran panjang *femur* bagian *proximal*, *femur* bagian *distal*, dan *tibia* bagian *proximal*, besar volume otot, jarak absolut perlekatan otot (Gambar 1, 2), dan jarak proporsional perlekatan otot (Gambar 3, 4).

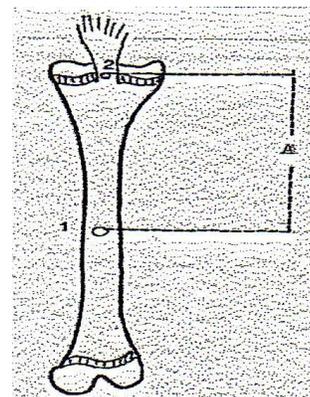
Semua variabel-variabel sebagaimana tersebut di atas dikelompokkan menurut perlakuan yang diberikan pada hewan percobaan, yaitu variabel-variabel pada kelompok kontrol. Selanjutnya ditentukan selisih rerata ukuran-ukuran antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan pada tiap-tiap kelompok tadi.

Variabel-variabel dan selisih rerata ukuran-ukuran variabel antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan dibandingkan antara kelompok bipedal dan kelompok kontrol. Kesimpulan yang ditarik dari perbandingan-perbandingan di atas diperoleh dengan pengujian secara statistik yaitu analisis varian.

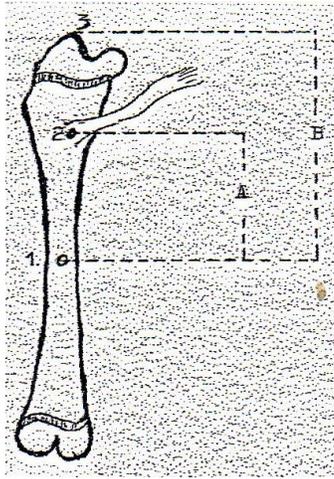
Pembuktian penelitian ini dilakukan dengan menguji hubungan antara selisih ukuran panjang tulang dan besar volume otot dengan selisih jarak absolut perlekatan otot dan jarak proporsional perlekatan otot secara statistik, yakni dengan analisis varian dan uji korelasi Pearson. Di samping menggunakan perhitungan biasa, teknik-teknik pengujian statistik di atas dihitung dengan menggunakan komputer.



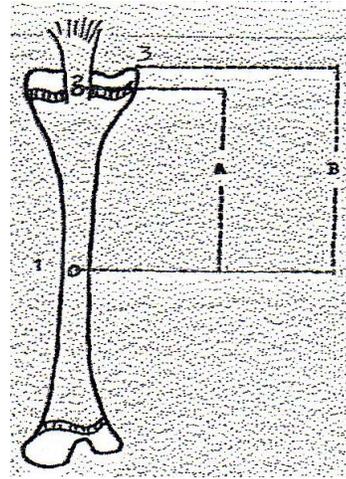
Gambar 1. Cara pengukuran jarak absolut perlekatan otot pada tulang paha (*femur*) bagian ujung pangkal (A)
Ket: 1. Kawat penunjuk; 2. Titik pertengahan perlekatan otot



Gambar 2. Cara pengukuran jarak absolut perlekatan otot pada tulang kering (*tibia*) bagian ujung pangkal (A)
Ket: 1. Kawat penunjuk; 2. Titik pertengahan perlekatan otot

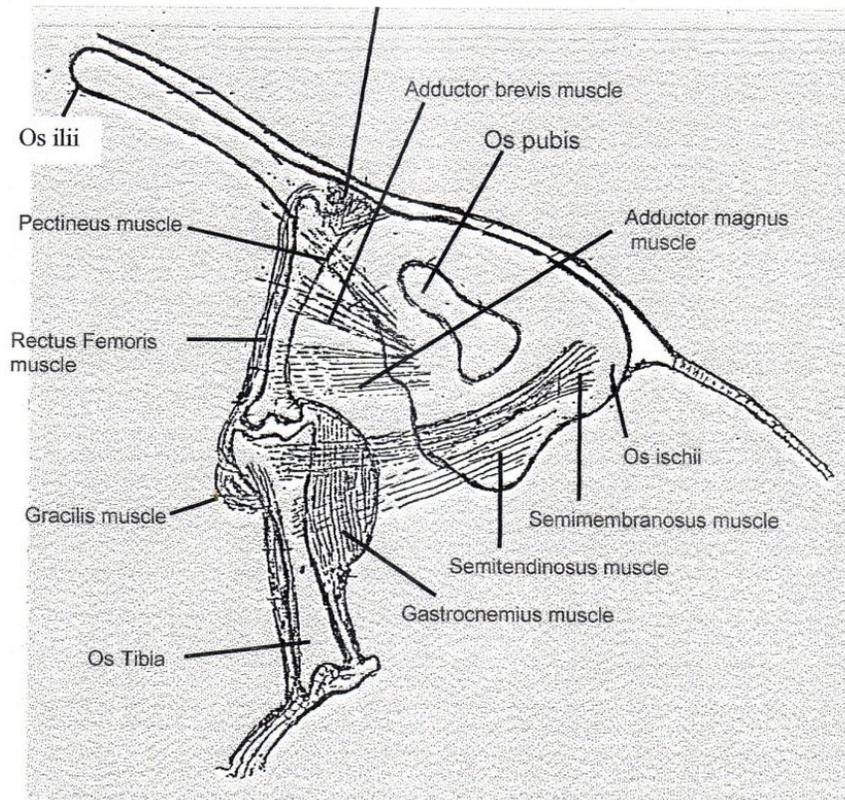


Gambar 3. Cara pengukuran jarak proporsional perlekatan otot pada tulang paha (*femur*) bagian ujung pangkal (A/B)
Ket: 1. Kawat penunjuk; 2. Titik pertengahan perlekatan otot; 3. Ujung pangkal tulang paha



Gambar 4. Cara pengukuran jarak proporsional perlekatan otot pada tulang kering (*tibia*) bagian ujung pangkal (A/B)
Ket: 1. Kawat penunjuk; 2. Titik pertengahan perlekatan otot; 3. Ujung pangkal tulang kering

Gluteus maximus muscle



Gambar 5: Gambaran otot-otot tikus bipedal secara skematis dari pandangan samping
Sumber: Boer, 1980; Farris and Griffith, 1949

HASIL

Hasil pengukuran panjang *femur* bagian *proximal*, panjang *femur* bagian *distal* dan panjang *tibia* bagian *proximal* pada kelompok kontrol, pada kelompok bipedal pada perlakuan 6 bulan dan 2 bulan dan selisih antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan, dapat dilihat pada data selisih rerata panjang tulang pada kelompok-kelompok antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa antara kelompok kontrol, kelompok bipedal terdapat perbedaan bermakna untuk selisih panjang *femur* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan (uji analisis varian F = 310,709; $p < 0,01$), untuk selisih panjang *femur* bagian *distal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan (uji analisis varian F = 490,446; $p < 0,01$) dan untuk selisih panjang *tibia* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan (uji analisis varian F = 879,881; $p < 0,01$).

Data Tabel 2 dilakukan pengujian perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok bipedal dengan uji t yang hasilnya dapat dilihat dan dirangkum pada Tabel 3.

Pengujian perbedaan selisih panjang *femur* bagian *proximal*, panjang *femur* bagian *distal* dan panjang *tibia* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan (Tabel 2 dan 3), antara kelompok kontrol dan kelompok bipedal menghasilkan kesimpulan bahwa selisih panjang *femur* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan pada kelompok bipedal lebih besar daripada kelompok kontrol secara sangat bermakna ($t = 10,655$; $p < 0,01$), dan hal yang sama terdapat pada *tibia* bagian *proximal* ($t = 12,523$; $p < 0,01$), sedang untuk *femur* bagian *distal* didapat hasil yang lebih kecil pada kelompok bipedal, tetapi perbedaan ini tidak bermakna ($t = 0,22$; $p < 0,05$).

Pengukuran volume otot

Hasil pengukuran besar volume otot pada kelompok kontrol, pada kelompok bipedal, pada perlakuan 6 bulan dan 2 bulan

Tabel 2. Data selisih rerata panjang tulang antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan, diperinci menurut kelompok perlakuan

Kelompok Panjang	Kontrol X/mm SB	Bipedal X/mm SB
Femur bagian proksimal	1,923±0,435	2,989±0,286
Femur bagian distal	3,702±0,409	3,677±0,285
Tibia bagian proksimal	2,496±0,393	3,375±0,159

Ket: ** Perbedaan sangat bermakna ($P < 0,01$)

X = rerata = mean; SB = simpangan baku = standar deviasi

Tabel 3. Harga t dan p dari hasil pengujian selisih rerata panjang tulang pada perlakuan 6 bulan dan 2 bulan kelompok kontrol dan kelompok bipedal

Antar kelompok Panjang	Kontrol T	vs	Bipedal P
Femur bagian proksimal	-10,655		0*
Femur bagian distal	0,22		0,821
Tibia bagian proksimal	-12,523		0*

Ket: * = Perbedaan sangat bermakna ($p < 0,01$)

Vs = Versus

dan selisih antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan, dapat dilihat pada lampiran. Selisih rerata volume otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan pada kelompok kontrol dan kelompok bipedal dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa antara kelompok kontrol dan kelompok bipedal terdapat perbedaan selisih volume otot yang sangat bermakna antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan, pada

m.gastrocnemius (F = 568,828; p<0,01), *m.rectus femoris* (F = 8,246; p<0,01), *m.semimembranosus* (F = 65,379; p<0,01), *m.gracilis* (F = 201,868; p<0,01), *m.semitendinosus* (F = 43,343; p<0,01), *m.tibialis anterior* (F = 395,952; p<0,01), *m.gluteus maximus* (F = 777,606; p< 0,01), *m.pectineus* (F = 16,501; p<0,01), *m.adductor brevis* (F = 111,743; p<0,01), *m.adductor magnus* (F = 135,396; p<0,01).

Tabel 4. Data rerata besar selisih volume otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan, diperinci menurut kelompok perlakuan

Kelompok Otot	Kontrol X/mm SB	Bipedal X/mm SB
M. gluteus maximus	0,295±0,027	0,280±0,036
M. pectineus	0,055±0,039	0,055±0,051
M. adductor brevis	0,117±0,030	0,098±0,033
M. adductor magnus	0,127±0,031	0,122±0,028
M. gastrocnemius	0,153±0,029	0,485±0,058
M. rectus femoris	0,035±0,806	0,393±0,056
M. semimembranosus	0,313±0,034	0,428±0,031
M. gracilis	0,232±0,030	0,445±0,047
M. semitendinosus	0,312±0,031	0,423±0,042
M. tibialis anterior	0,132±0,033	0,260±0,035

Ket: Perbedaan sangat bermakna (p<0,01)
X = rerata = mean
SB = simpangan baku = standar deviasi

Tabel 5. Harga t dan p dari hasil pengujian perbedaan data rerata besar selisih volume otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan

Antar kelompok Otot	Kontrol t	vs	Bipedal p
M. gluteus maximus	2,144		0,032*
M. pectineus	0		0,996
M. adductor brevis	2,662		0,009**
M. adductor magnus	0,65		0,524
M. gastrocnemius	-24,963		0**
M. rectus femoris	-3,353		0,001**
M. semimembranosus	-11,188		0**
M. gracilis	-19,522		0**
M. semitendinosus	-9,253		0**
M. tibialis anterior	-15,849		0**

Ket: ** = Perbedaan sangat bermakna (p<0,01)
* = Perbedaan bermakna (p<0,05)
Vs = Versus

Terhadap data tersebut pada Tabel 4, bila dilakukan pengujian perbedaan antara kelompok kontrol terdapat selisih volume otot antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan yang lebih besar secara sangat bermakna untuk *m.gastrocnemius* ($t = -24,963$; $p < 0,01$), *m.rectus femoris* ($t = -3,353$; $p < 0,01$), *m.gracilis* ($t = -19,522$; $p < 0,01$), *m.semitendinosus* ($t = -9,253$; $p < 0,01$), *m.tibialis anterior* ($t = -15,849$; $p < 0,01$). Sebaliknya lebih kecil sangat bermakna untuk *m.gluteus maximus* ($t = 2,144$; $p < 0,05$), lebih kecil secara tidak bermakna untuk *m.adductor magnus* ($t = 0,065$; $p > 0,05$)

dan tidak ada perbedaan untuk *m.pectineus* ($t = 0$; $p > 0,05$).

Pengujian korelasi variabel-variabel perlakuan dengan migrasi perlekatan otot pada tulang

Penentuan korelasi antara variabel-variabel perlakuan selisih rerata panjang tulang dan volume otot pada perlakuan 6 bulan dan 2 bulan dengan migrasi perlekatan otot secara absolut dan proporsional, dilakukan pengujian dengan uji korelasi Pearson.

Tabel 6. Hasil uji korelasi antara perubahan panjang tulang dan volume otot dengan migrasi perlekatan otot pada tulang, pada kelompok kontrol

Antar kelompok Otot	Migr.abs. pj.tl	Migr.abs. vol.otot	Migr.prop. pj.tl	Migr.prop. vol.otot
M. gluteus maximus	r0,977** p<0,01	0,236 >0,05	0,021 >0,05	0,258 >0,05
M. pectineus	r0,902** p<0,01	0,047 >0,05	-0,143 >0,05	-0,075 >0,05
M. adductor brevis	r0,966** p<0,01	0,354 >0,05	-0,233 >0,05	0,354 >0,05
M. adductor magnus	r0,896** p<0,01	0,103 >0,05	-0,056 >0,05	0,073 >0,05
M. gastrocnemius	r0,918** p<0,01	0,028 >0,05	0,292 >0,05	0,001 >0,05
M. rectus femoris	r0,944** p<0,01	0,387 >0,05	-0,204 >0,05	0,389 >0,05
M. semimembranosus	r0,978** p<0,01	0,252 >0,05	0,196 >0,05	0,266 >0,05
M. gracilis	r0,933** p<0,01	0,401 >0,05	0,190 >0,05	0,404 >0,05
M. semitendinosus	r0,516* p<0,05	0,04 >0,05	0,105 >0,05	0,017 >0,05
M. tibialis anterior	r0,963** p<0,01	-0,099 >0,055	-0,485 >0,05	-0,096 >0,05

Ket: ** = Korelasi sangat bermakna ($p < 0,01$)
 * = Korelasi bermakna ($p < 0,05$)
 Migr.abs.pj.tl = Migrasi absolut panjang tulang
 Migr.abs.vol.otot = Migrasi absolut volume otot
 Migr.prop.pj.tl = Migrasi proporsional panjang tulang
 Migr.prop.vol.otot = Migrasi proporsional volume otot

Tabel 7. Hasil uji korelasi antara perubahan panjang tulang dan volume otot dengan migrasi perlekatan otot pada tulang, pada kelompok bipedal

Antar kelompok Otot	Migr.abs. pj.tl	Migr.abs. vol.otot	Migr.prop. pj.tl	Migr.prop. vol.otot
M. gluteus maximus	r0,028** p<0,01	0,207 >0,05	0,099 >0,05	0,178 >0,05
M. pectineus	r0,974** p<0,01	0,06 >0,05	0,268 >0,05	0,019 >0,05
M. adductor brevis	r0,934** p<0,01	-0,083 >0,05	-0,019 >0,05	-0,004 >0,05
M. adductor magnus	r0,647** p<0,01	-0,12 >0,05	-0,061 >0,05	-0,057 >0,05
M. gastrocnemius	r0,939** p<0,01	0,187 >0,05	-0,003 >0,05	0,01 >0,05
M. rectus femoris	r0,659** p<0,01	0,229 >0,05	-0,192 >0,05	0,229 >0,05
M. semimembranosus	r0,781** p<0,01	-0,246 >0,05	-0,075 >0,05	-0,25 >0,05
M. gracilis	r0,876** p<0,01	-0,302 >0,05	-0,143 >0,05	0 >0,05
M. semitendinosus	r0,165 p>0,05	0,078 >0,05	-0,272 >0,05	0,078 >0,05
M. tibialis anterior	r0,858** p<0,01	-0,286 >0,055	-0,021 >0,05	-0,284 >0,05

Ket: ** = Korelasi sangat bermakna (p<0,01)
Migr.abs.pj.tl = Migrasi absolut panjang tulang
Migr.abs.vol.otot = Migrasi absolut volume otot
Migr.prop.pj.tl = Migrasi proporsional panjang tulang
Migr.prop.vol.otot = Migrasi proporsional volume otot

Migrasi perlekatan otot secara absolut tidak berkorelasi dengan perubahan besar volume otot karena penambahan beban selama pertumbuhan tulang (p>0,05). Migrasi perlekatan otot secara proporsional tidak berkorelasi dengan perubahan panjang tulang karena penambahan beban secara bipedal selama pertumbuhan tulang (p>0,05). Migrasi perlekatan otot secara proporsional tidak berkorelasi dengan perubahan besar volume otot karena penambahan beban secara bipedal selama pertumbuhan tulang (p>0,05).

PEMBAHASAN

Penelitian ini telah membuktikan bahwa ada korelasi antara penambahan pembebanan pada tulang secara bipedal dengan perubahan panjang tulang dan ada hubungan antara perubahan panjang tulang dengan migrasi perlekatan otot pada tulang selama pertumbuhan.

Sebagaimana telah dikemukakan dalam tinjauan pustaka, percobaan bipedal yang sudah dilakukan untuk membuktikan perubahan ukuran panjang tulang sebagai

akibat perlakuan bipedal, sering mengabaikan pengaruh aktivitas otot sebagai bagian dari sistem muskuloskeletal dengan perhitungan selanjutnya. Pada penelitian ini perubahan-perubahan yang terjadi sebagai akibat perlakuan bipedal terdapat pada tulang dan otot.

Penelitian ini menggunakan metode yang dilakukan oleh Fuld (1909) *cit* Colton (1929) dan Regnault (1911) *cit* Colton (1929) pada anjing yang dibuat bipedal, mendapat hasil bahwa *tibia* lebih panjang daripada *femur* dibandingkan dengan kelompok kontrol. Penelitian Riesenfeld (1966) dilakukan pada tikus dan mendapatkan hasil yang sama. Perlakuan bipedal lainnya pada tikus menghasilkan *femur* lebih panjang daripada kelompok kontrol, terjadi perubahan ukuran *femur* dan *tibia* menjadi lebih pendek dibanding dengan kelompok kontrol, *tibia* dan *femur* kedua-duanya lebih pendek dan lebih tebal dibanding dengan kelompok kontrol. Penelitian ini membuktikan bahwa perlakuan bipedal menyebabkan perubahan ukuran panjang tulang.

Berdasarkan tinjauan pustaka bahwa pembebanan pada tulang selain secara bipedal, dapat juga dilakukan cara memberi beban dengan perantaraan kawat yang dipasang di bawah permukaan bagian ujung atas tulang. Beban digantung pada kiri kanan kawat dan beban yang beratnya dapat diatur akan memberikan tekanan pada tulang selama pertumbuhan. Dengan mengatur tekanan yang diberikan, beberapa peneliti seperti Weinmann & Sicher (1955), Hert (1969), Arkin & Katz (1956), Evans (1953, 1958, 1976). Lanyon & Baggot (1976), Carter & Hayes (1976), Simon (1977, 1978), dan Warrel & Taylor (1979) mendapatkan kesimpulan bahwa beban dapat merangsang pertumbuhan tulang selama beban tersebut masih berada dalam batas-batas toleransi tulang. Sedang bila beban berada di luar batas toleransi tulang, maka pertumbuhan tulang

akan terhambat. Ketentuan tersebut dapat mendasari penelitian ini dan hasilnya disajikan sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.

Penambahan beban secara bipedal pada percobaan dalam penelitian ini menunjukkan penambahan beban yang berada dalam batas-batas toleransi kemampuan pada *femur* bagian *proximal* dan *tibia* bagian *proximal*. Ini terlihat pada *femur* bagian *proximal* yang menjadi lebih panjang, dan di luar batas-batas toleransi kemampuan pada tulang *femur* bagian *distal*, yang ternyata pertumbuhannya kurang.

Penambahan beban kira-kira separuh berat badan bagian atas tikus pada perlakuan bipedal, seluruhnya ditampung mula-mula oleh *femur* bagian *proximal* dan beban ini akan merangsang pertumbuhan *cartilago epiphysialis proximalis femoris*. Hasil yang didapat dalam percobaan ini ialah bahwa selisih panjang *femur* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan pada kelompok bipedal lebih besar daripada kelompok kontrol. Hal ini berarti penambahan berat badan secara bipedal merangsang *cartilago epiphysialis proximalis femoris*. Selama perlakuan, penambahan beban berada dalam batas-batas toleransi kemampuan pada tulang, sehingga tulang menjadi panjang. Hasil yang sama didapat dari penelitian bipedal pada tikus oleh Colton (1929) dan Simon (1977) yakni penambahan beban secara bipedal menyebabkan *femur* lebih panjang daripada *femur* kelompok kontrol. *Cartilago epiphysialis* kelompok bipedal masih terus tumbuh, sedang pada kelompok kontrol sudah berhenti.

Gaya tekan berat badan dari *femur* bagian *proximal* diteruskan ke *femur* bagian *distal* melalui garis-garis trayektor yang langsung berkontak dengan *tibia* bagian *proximal*. Semua gaya tersebut ditampung oleh *tibia* bagian *proximal*. Penahanan dan

penyanggaan berat badan dan menerima gaya balik tekanan berat badan dari *tibia* bagian *proximal*.

Berdasarkan perhitungan statistik didapat hasil bahwa perbedaan selisih panjang *femur* bagian *distal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan lebih kecil dibanding dengan pada kelompok kontrol. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada *femur* bagian *distal* besarnya tekanan berat badan yang merangsang *cartilago epiphysialis distalis femoris* selama perlakuan 6 bulan dan 2 bulan berada di luar batas-batas toleransi kemampuan tulang. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengamatan ukuran panjang *femur* bagian *distal* lebih pendek dari kontrol. Hasil yang sama didapat dalam penelitian bipedal pada tikus oleh Goff & Landmesser (1956) dan Riesenfeld (1966).

Pada *tibia* bagian *proximal*, dari perhitungan statistik didapat hasil yaitu perbedaan selisih panjang *tibia* bagian *proximal* antara perlakuan 6 bulan dan 2 bulan pada kelompok bipedal lebih besar dibanding dengan pada kelompok kontrol. Nilai ini menunjukkan bahwa besar tekanan berat badan yang ditampung sekaligus merangsang *cartilago epiphysialis proximalis tibiae*. Selama perlakuan beban berada dalam batas-batas toleransi kemampuan tulang, sehingga tulang menjadi lebih panjang.

Mengenai korelasi antara perubahan ukuran panjang tulang dengan migrasi perlekatan otot secara absolut dan proporsional disajikan pada Tabel 7 untuk kelompok bipedal. Pada kelompok bipedal, kecuali pada *m.gluteus maximus* dan *m.semitendinosus*, otot-otot yang lain yang diamati menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara perubahan panjang tulang dengan migrasi perlekatan otot secara absolut dan tidak berkorelasi dengan migrasi perlekatan otot secara proporsional. Perkecualian pada *m.gluteus maximus* dan *m.semitendinosus* mungkin disebabkan karena perlekatannya

masing-masing terdapat di dekat *cartilago epiphysialis proximalis femoris* dan di dekat pusat *corpus tibiae*. Kedua perlekatan tersebut tidak banyak bergeser terhadap tulang dengan adanya perubahan pertumbuhan panjang tulang.

Membuat hewan quadrupedal (berkaki empat) menjadi bipedal (berkaki dua) akan merubah sikap hewan yang bersangkutan. Perubahan sikap hewan quadrupedal menjadi bipedal akan mempengaruhi antara lain jalannya serabut-serabut otot dan fungsi otot hewan tersebut. Penilaian pengaruh penambahan beban secara bipedal terhadap perubahan fungsi otot, didasarkan pada penambahan atau pengurangan volume otot hewan dalam menyesuaikan fungsi otot dengan sikap dan kerja yang baru.

Berdasarkan perhitungan statistik tersebut pada sepuluh otot yang diuji dengan analisis varian, terdapat beberapa otot yang menjadi hipertrofi atau hipotrofi. Hipertrofi otot kemungkinan disebabkan fungsi bertambah karena aktifitas yang berlebihan untuk melakukan *retrofleksi pelvis*, menyangga berat badan, melakukan beberapa gerakan atau menggantikan dan membantu fungsi otot lain dalam sikap bipedal yang sebelumnya tidak dilakukan, serta menahan keseimbangan badan. Sebagaimana telah diterangkan di atas bahwa dengan perlakuan bipedal, jalannya serabut-serabut otot dan posisi otot terhadap sumbu transversal persendian berubah. Dengan perubahan kedudukan seperti tersebut di atas, lengan gaya otot menjadi lebih pendek terhadap sumbu gerak, sehingga otot-otot yang kurang melakukan gerakan menyebabkan otot menjadi hipotrofi.

Tikus normal saat melakukan *retroflexi pelvis*, bekerja *m.gluteus maximus*, *m.semimembranosus*, *m.semitendinosus* dan pada *anteflexi pelvis* bekerja *m.rectus femoris*.

Pada anteflexi femur bekerja *m.rectus femoris*. Pada retroflexi femur bekerja *m.gluteus maximus*, *m.pectineus*, *m.adductor magnus* dan *brevis*, *m.semimembranosus*, *m.semitendinosus*. Untuk melakukan gerakan flexi pada articulo genos bekerja *m.gracilis*, *m.semimembranosus*, *m.semitendinosus*, dan *m.gastrocnemius*. Extensi oleh *m.tibialis anterior* dan flexi plantar kaki oleh *m.gastrocnemius*.

Tikus dengan perlakuan bipedal, untuk melakukan retroflexi pelvis bekerja *m.semimembranosus*, *m.gracilis*, dan *m.semitendinosus*, sedang *m.gluteus maximus* kurang berfungsi. Posisi *m.gluteus maximus* dan jalan serabut ototnya berubah terhadap sumbu transversal articulo coxae dan lengan gaya otot menjadi pendek, sehingga gerakannya berkurang dan hipotrofi. Hewan untuk melakukan anteflexi pelvis bekerja *m.rectus femoris*. Badan hewan berpindah ke belakang, dan untuk mempertahankan sikap serta menjaga keseimbangan, femur dan tibia menjadi agak lebih tegak. Keadaan tersebut menyebabkan *m.semimembranosus* dan *m.semitendinosus* harus bekerja lebih banyak atau hiperfungsi, dan akibatnya kedua otot tersebut menjadi hipertrofi. Tikus dengan keadaan bipedal, lengan gaya *m.pectineus* dan *m.adductor magnus* dan *brevis* menjadi lebih pendek dan kedua otot tersebut kurang berfungsi dan menjadi hipotrofi. Hewan untuk retroflexi femur *m.gluteus maximus* kurang bekerja karena lengan gaya menjadi lebih pendek dan fungsinya dibantu oleh *m.semimembranosus* dan *m.semitendinosus*, sehingga otot tersebut hiperfungsi dan hipertrofi. Flexi lutut dilakukan oleh *m.semimembranosus*, *m.semitendinosus*, dan *m.gracilis*, dan extensi lutut dilakukan oleh *m.rectus femoris*. Sikap bipedal menyebabkan femur dan tibia menjadi agak lebih tegak untuk menjaga keseimbangan badan, dan otot-otot tersebut harus bekerja lebih banyak dan hiperfungsi sehingga otot-otot tersebut menjadi hipertrofi. Flexi plantar kaki dilaku-

kan oleh *m.gastrocnemius* serta membantu melakukan flexi articulo genos, sehingga otot menjadi hipertrofi.

Perubahan sikap dari quadrupedal menjadi bipedal menyebabkan fungsi otot dapat bertambah atau sebaliknya dapat berkurang. Berkurangnya fungsi otot atau hipofungsi, gerakan otot berkurang dan biasanya volume otot yang bersangkutan akan menjadi berkurang.

Berdasarkan hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kelompok bipedal untuk menahan kedudukan pelvis dan berat badan, dan menjaga keseimbangan badan pada sikap bipedal serta untuk melakukan gerakan terutama retroflexi pelvis dan femur, flexi dan extensi pada sendi lutut dan kaki, beberapa otot bertambah aktivitasnya dan menjadi hipertrofi. Hal serupa dapat dilihat pada penelitian Davies *et al.* (1964) pada tikus dan pada penelitian pendahuluan penulis pada mencit (Boer, 1980). Kedua penelitian di atas didapat hasil bahwa *m.gastrocnemius*, *m.rectus femoris*, *m.semimembranosus*, *m.gracilis* dan *m.semitendinosus* menjadi hipertrofi, yang dapat dilihat pada pengamatan berat dan diameter otot yang lebih besar dibanding dengan pada kelompok kontrol. Beberapa otot menjadi hipofungsi sehingga volumenya menjadi lebih kecil dibanding dengan pada kelompok kontrol. Hipofungsi otot pada penelitian ini disebabkan karena kedudukan dan arah jalan serabut otot terhadap persendian berubah, sehingga gerakan atau aktivitas otot berkurang dan otot menjadi hipotrofi.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Tikus dengan perlakuan bipedal menyebabkan terjadinya perubahan panjang tulang dibanding dengan kelompok kontrol. Perubahan panjang tulang tersebut berkorelasi dengan migrasi absolut perlekatan

otot selama pertumbuhan, tetapi tidak berkorelasi dengan migrasi perlekatan otot secara proporsional. Perlakuan bipedal menyebabkan terjadinya perbedaan selisih volume otot yang lebih besar dibanding dengan pada kelompok kontrol, dan perbedaan selisih volume otot ini tidak berkorelasi dengan migrasi perlekatan otot secara absolut dan proporsional pada tulang selama pertumbuhan.

Terdapat korelasi antara migrasi perlekatan otot pada tulang dengan perubahan panjang tulang pada hewan dengan penambahan beban pada tulang dengan perlakuan bipedal. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa derajat migrasi perlekatan otot pada tulang berkorelasi dengan penambahan beban pada tulang, yang berdasar pada unsur tulang, dan tidak ada korelasi dengan perubahan volume otot selama pertumbuhan panjang tulang.

Saran

Agar diadakan penelitian lebih lanjut tentang unsur muskuloskeletal yang lain yakni periosteum, susunan, dan cara perlekatan tendo pada tulang, yang mungkin ada hubungannya dengan migrasi perlekatan otot pada tulang selama pertumbuhan.

Agar diadakan penelitian-penelitian lebih lanjut tentang faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi migrasi perlekatan otot pada tulang-tulang panjang selama pertumbuhan pada spesies lainnya untuk mengetahui pengaruh faktor genetik, makanan, dan umur (Adams and Eddy, 1949).

KEPUSTAKAAN

- Adams LA and Eddy S 1949. *Comparative Anatomy*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Arkin AM and Katz JF 1956. The Effect of Pressure on Epiphyseal Growth. The Mechanism of Plasticity of Growing Bone. *J. Bone Joint Surg.* 38A (5): 1056-1076.
- Boer A 1980. Pertumbuhan Femur dan Tibia Mencit akibat Perlakuan Bipodal. *Pertemuan Nasional Anatomi V Semarang*.
- Campbell JR 1976. Bone Growth in Foals and Epiphyseal Compression. *Equine Vet. J.* 3: 116-131.
- Carter DR and Hayes C 1976. Bone Compressive Strength: the influence of density and strain rate. *Science* 194: (4270): 174-176
- Chor H and Dolkart RE 1939. Experimental Muscular Dystrophy in the Guinea Pig. *Arch. Pathol.*, 27: 497-509.
- Colton HS 1929. How Bipodal Habits Affect the Bone of the Hind Legs of the Albino Rat. *J. Exp.* 7001. 53 (1): 1-11.
- Crawford GNC 1950. An Experimental Study of Tendo Growth in the Rabbit. *J. Bone Joint Surg.* 32B (2): 234-243.
- Crawford GNC 1954. An Experimental Study of Tendo Growth in the Rabbit. *J. Bone Joint Surg.* 32B (2): 294-3-3.
- Davies C, Van der Selt A, and Smit Vis JH 1964. The Influence of the Type of Locomotion on the Growth of the Hind-limb Muscle. A Comparison between Normal and Bipodal Rats. *Acta. Anat.* 158: 184-199.
- Evans FG 1953. Methods of Studying the Biomechanical Significance of Bone Form. *Am. J. Phys. Anthropol.* 11(3): 1-11.
- Evans FG 1958. Relation between the Microscopic Structure and Tensile Strength of Human bone. *Acta Anat.* 35: 285-301.
- Evans FG 1976. Mechanical Properties and Histology of Cortical Bone from Younger and Older Men. *Anat. Record.* 185 (1): 1-11
- Farris EJ and Griffith JQ 1949. *The Rat in the Laboratory Investigation*. 2nd ed. Hafner Publishing Co. New York.
- Goff CW and Landmesser W 1956. Bipodal Rats and Mice. *Laboratory Animals for Orthopaedic Research.* *J. Bone Joint Surg.* 39A (3): 616-622.
- Grant PG 1978. The Effect of Position on the Migration of Muscle. *J. Anat.* 127 (1): 157-162.
- Grant PG and Hawes MR 1977. Experimental Modification of muscle migration in the Rabbit. *J. Anat.* 123 (2) : 361-367.
- Grant PG Buschang PH and Drolet DW 1978. Positional Relationship of Structure Attached to Long Bone during Growth. *Acta Anat.* 102 : 378-384.
- Haines RW 1932. The Laws of Muscle and Tendon Growth. *J. Anat.* 66 : 578-585.
- Ham AW and Cormack DH 1979. *Histology*. 8thed. J.B. Lippincott Comp. Philadelphia.
- Hert J 1969. Acceleration of the Growth after Decrease of Load on Epiphyseal Plates of Means of Spring Distractors. *Folia Morphol.* 17: 194-203.

- Howell JA 1917. An Experimental Study of the Effect of Stress and Strain on Bone Development. *Anat. Rec.* 13 (5): 233-252.
- Hughes H 1956. An Experimental Study of the Post-natal Growth of Tendon. *Anat. Anz. Bd.*, 103: 192-197.
- Ihemelandu EC 1981. Comparison of effect of Estrogen on Muscle Development of Male and Female Mice. *Acta. Anat.* 110 (4) : 311-17.
- Junqueira LC, Carneira J, and Contopoulos AN 1980. *Basic Histology*. Los Altos, California.
- Lanyon LE and Baggott DG 1976. Mechanical Function as an Influence on the Structure and Form of Bone. *J. Bone Joint Surg.* 58B(4): 436-443.
- Nilsson A 1987. Effects of Unilateral Arterial Infusion of GH and IGF-I on Tibial Longitudinal Bone Growth in Hypophysectomized Rat. *Calcif. Tissue Int.*, 40 (2): 91-6.
- Riesenfeld A 1966. The Effect of Experimental Bipedalism and Upright Posture in the Rat and Their Significance for the Study of Human Evolution. *Acta Anat.* 65: 449-521.
- Riesenfeld A 1972. Metatarsal Robusticity in Bipedal Rats. *Am. J. Phys. Anthropol.* 36: 229-234.
- Riesenfeld A 1974. Changes in Metatarsal Robusticity Following Experimental Surgery. *Am. J. Phys. Anthropol.* 40: 205-212.
- Simon MR 1977. The Role of Comprehensive Forces in the Normal Maturation of the Condylar Cartilage in the Rat. *Acta. Anat.*, 97: 351-360.
- Simon MR 1978. The Effect of Dynamic Loading on the Growth of Epiphyseal Cartilage in the Rat. *Acta Anat.*, 102: 176-183.
- Videman T 1970a. An Experimental Study of the Effects of Growth on the Relationship of Tendons and Ligaments to Bone at the Site of Diaphyseal Insertion. Part I : Experiments with ³⁵S-Sulphate and Oxytetracycline. *Ann. Chir. Gyn. Fenn.* 59: 1-21.
- Videman T 1970b. An Experimental Study of the Effects of Growth on the Relationship of Tendons and Ligaments to Bone at the Site of Diaphyseal Insertion. Part II : Determination of Growth Patterns and Inhibition of Displacement using Metal Marker. *Ann. Chir. Gyn. Fenn.* 59: 22-34.
- Videman T 1970c. An Experimental Study of the Effects of Growth on the Relationship of Tendons and Ligaments to Bone at the Site of Diaphyseal Insertion. Part III : Autoradiographic Study with ³H Thymidine of the Insertion area of the Tendon of the Pectineus Muscle. *Ann. Chir. Gyn. Fenn.* 59 : 35-41.
- Warrel E and Taylor JF 1979. The Role of Periosteal Tension in the Growth of Long Bones. *J. Anat.* 128 (1): 179-184.
- Warwick WT and Wiles P 1934. The Growth of Periosteum in Long Bones. *Brit. J. Surg.* 22: 169-174.
- Weinman JP and Sicher H 1955. *Bone and Bones Fundamental of Bone Biology*. 2nd ed. Mosby Co., St. Louis.
- Zuurveld JE, Writzo Loermans HMT, and Veerkamp JH 1985. Post Natal Growth and Differentiation in Three Kind Limb Muscles of the Rat *Cell Tiss Res.* 241: 183-192.