



KAJIAN LITERATUR

BAB 6

ADAPTASI MUSCULOSKELETAL TERHADAP LATIHAN

(Abernethy, Bruce, et.al. 1996. *The Biophysical Foundations of Human Movement*. Human Kinetties, Queensland. Australia).

Oleh

SUCIPTO

**SEKOLAH PASCASARJANA
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN OLAAHRAGA S3
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
DESEMBER 2006**

BAB 6

ADAPTASI MUSCULOSKELETAL TERHADAP LATIHAN

- Tulang dipengaruhi oleh berbagai tingkat aktivitas yang berbeda
- Tulang merupakan suatu organ dinamis yang dapat memperbaiki dirinya sendiri setelah adanya cedera
- Struktur sendi dan kisaran pergerakan dipengaruhi oleh berbagai tingkat aktivitas yang berbeda
- Struktur dan fungsi otot dipengaruhi oleh tingkat aktivitas yang berbeda
- Ukuran, bentuk, dan komposisi tubuh dapat diubah dengan latihan
- Faktor gaya hidup memainkan suatu bagian esensial dalam menentukan fisik
- Ukuran dan tipe tubuh berkaitan dengan performa dalam olahraga dan berbagai peristiwa berbeda dalam satu olahraga

Tujuan bab ini adalah untuk membahas berbagai perubahan dalam sistem kerangka, artikuler, dan otot dan dalam bentuk, ukuran dan komposisi tubuh secara keseluruhan yang terjadi sebagai suatu adaptasi dalam merespon pada aktivitas jasmani.

Tulang dipengaruhi oleh tingkat aktivitas yang berbeda

Charles Darwin (1809-1882) menyadari hubungan antara aktivitas fisik dan massa tulang dalam bukunya *The Origin of Species* yang pertama kali diterbitkan pada tahun 1859. Dalam sebuah versi modern yang diperkenalkan oleh *anthropologist* jasmani, Richard Leakey, disebutkan pada bab pertama yang berjudul '*Variation under domestication*' bahwa:

... dengan hewan-hewan penggunaan yang meningkat atau tidak terpakainya bagian-bagian memiliki suatu pengaruh yang besar; jadi pada bebek lokal, tulang-tulang sayapnya berbobot lebih ringan dan tulang-tulang kaki lebih berat, dalam proporsi pada kerangka secara keseluruhan, dari pada yang ada pada tulang yang sama pada bebek liar; dan hal ini

dapat diatributkan pada bebek lokal yang terbang sedikit lebih jauh, dan lebih banyak berjalan, dari pada induk semangnya'. (Darwin C. (1979), *The Illustrated Origin of Species*, Book Club Associates, London, hal. 50.)

Kasus klinis dan eksperimen terhadap hewan telah menunjukkan kemampuan adaptasi tulang yang serupa. Tulang yang utama menopang bobot pada kaki manusia adalah tulang tibia, yang bersentuhan dengan tulang paha pada lutut. Dalam keadaan dimana tulang tibia yang secara sejak lahir tidak memiliki kekuatan/hilang, dapat diganti tugasnya oleh tulang fibula. Peningkatan dalam ukuran dan kekuatan tulang tibia dalam situasi ini cukup spektakuler.

Dalam mendeskripsikan asal mula sejarah awal sub-disiplin anatomi fungsional, penyebutan dibuat oleh peran pionir ahli anatomi dari Jerman pada abad ke-19, mendemonstrasikan bahwa arsitektur tulang bagian dalam menunjukkan tekanan-tekanan yang dihasilkan oleh tenaga mekanis luar. Hukum Wolff pertama kali diterbitkan di Jerman lebih dari satu abad yang lalu dan sejak itu telah banyak bermacam terjemahan dan penafsiran hukum tersebut. Konsep adaptasi tulang diperkenalkan oleh yang lain, yang memberikan arti yang lebih luas terhadap hukum Wolff daripada konsepsi awalnya. Salah satu versi yang diajukan oleh Sir Arthur Keith pada sebuah kuliah untuk Masyarakat Kerajaan di London tahun 1921 mengimplikasikan bahwa:

Setiap perubahan dalam bentuk dan fungsi sebuah tulang atas fungsinya sendiri, diikuti oleh beberapa perubahan tertentu dalam arsitektur internal mereka, dan secara sama menetapkan pergeseran tambahan dalam konformasi eksternal mereka, sesuai dengan hukum matematika. (W.J. Tobin (1995), arsitektur internal tulang paha dan signifikansi klinisnya: *Journal of Bone and Joint Surgery*, 37A, 57-72).

Terjemahan hukum ini mengimplikasikan bahwa tulang menahan suatu tekanan maksimum dengan jaringan tulang yang sedikit dan bahwa tulang mereorganisasi untuk menahan kekuatan dengan sangat ekonomis. Mekanisme proses adaptasi ini berada di luar cakupan bab ini tetapi sejumlah hipotesis telah diselidiki dan penelitian masih terus berjalan dalam suatu upaya untuk menemukan *transducer* biologis yang menerjemahkan pesan mekanis ke dalam

suatu hasil biologis. Tidak semua adaptasi tulang itu positif; pada keadaan tertentu bisa terjadi maladaptasi (lihat Box 6.1).

Box 6.1. Bagaimana latihan intensif mempengaruhi tulang-tulang hewan yang sedang tumbuh?

Para pekerja penelitian dari Departemen Anatomi di University of Queensland mempelajari berbagai dampak dari satu program latihan intensif selama satu bulan pada properti struktural dan fungsional dari 17 tikus jantan. Suatu jumlah tikus yang sama yang tidak secara spesifik dilatih digunakan sebagai kelompok kontrol. Selama 5 hari dari setiap 4 minggu eksperimen, tikus-tikus eksperimen berlari pada *tread-mill* selama 1 jam setiap harinya dan juga berenang selama periode waktu yang sama. Diperkirakan bahwa tikus-tikus bekerja pada sekitar 80 persen dari konsumsi oksigen maksimal mereka. Struktur dan fungsi dari tulang tungkai bawah dipelajari. Panjang dan lebar tulang diukur dan bagian tulang dipelajari di bawah sebuah mikroskop terang. Keseluruhan tulang juga diperiksa pada sebuah mesin pengukitan torsi manufaktur untuk mengukur kekuatan tulang-tulang ketika diputar pada suatu tingkatan fisiologis.

Selama bulan tersebut, tikus-tikus eksperimen makan lebih banyak dari tikus pada kelompok kontrol tetapi berbobot lebih ringan pada akhir periode pelatihan. Tulang-tulang panjang pada tungkai belakang tikus menjadi lebih pendek dan lebih ringan pada hewan eksperimental. Selain itu juga, piringan *epiphysial* menjadi lebih tipis. Sebagai hasil dari program latihan intensif ini, tulang kering tidak secara signifikan dipengaruhi, tetapi tulang kering menunjukkan suatu penurunan secara signifikan dalam jumlah energi yang diserapnya sebelum retak.

Telah didalilkan oleh para penulis bahwa pemuatan siklus berulang menyebabkan suatu akumulasi retakan mikro dalam tulang, yang mengakibatkan maladaptasi. Proposal latihan selalu menguntungkan bagi hewan muda, yang oleh karenanya dipertanyakan oleh para penulis, yang mengindikasikan bahwa kepustakaan yang berkaitan dengan retakan tekanan pada manusia menunjukkan bahwa itu merupakan suatu persoalan potensial.

Sumber: Forwood, M.R. & Parker, A.W. (1987), *Effects of Exercise on Bone growth: mechanical and physical properties studied in the rat*, 2, 185-190.

Ada banyak contoh tentang adaptasi tulang sebagai respon terhadap kekuatan luar. Hal ini diketahui setelah manusia dan hewan dikirim ke luar angkasa terjadi pengurangan massa tulang yang besar kemungkinan disebabkan karena aktivitas otot yang berkurang pada lingkungan dengan gravitasi nol. Ilmuwan Amerika dan Perancis masih mencoba untuk mengembangkan resimen latihan optimal untuk mencegah hilangnya masa tulang di udara. Demikian pula, ketika sebuah tulang kering terhenti pada sebuah cetakan *palesterm* bukti keadaan diam osteopaenia dapat diamati pada film sinar X. Osteopaenia adalah mekanisme dimana massa tulang menurun dan terjadi karena adanya ketidakseimbangan antara penyerapan dan deposisi tulang. Sebagai akibatnya, kerapuhan meningkat dan oleh karenanya tulang menjadi kurang padat dan terlihat kurang buram (radio-opaque) pada sebuah film radiasi X (tulang menyerap lebih banyak radiasi X ketimbang jaringan lain, kecuali gigi). Pengurangan pada tulang berhubungan dengan tidak adanya kekuatan luar pada tulang, yang terutama dihasilkan oleh aktivitas otot. Ada kemungkinan bahwa secara genetis terdapat massa-tulang dasar yang kurang dari massa yang dibutuhkan untuk penggunaan normal. Sehingga dibutuhkan tingkat aktivitas jasmani tertentu. Istirahat total akan mengakibatkan respon cepat yang merugikan pada sistem musculoskeletal.

Secara umum, kurangnya aktivitas jasmani mengakibatkan berkurangnya massa tulang dan dengan aktivitas yang meningkat, hal yang sebaliknya akan timbul. Beberapa contoh terbaik dari hubungan diantara aktivitas jasmani dan massa tulang berkaitan dengan perbandingan yang dibuat antara tulang atas lengan yang bergerak dan tidak bergerak pada pemain tenis profesional. Sebagai contoh, studi-studi radiologis telah menunjukkan bahwa pada tulang yang sering digunakan untuk aktivitas jasmani, bukan hanya lebih padat, tapi diameternya lebih besar dan tulang keras yang membentuk tangkai tulang lebih tebal. Analisis ulang terhadap data awal menunjukkan bahwa peningkatan yang paling besar terjadi individu yang memulai latihan pada usia muda, yaitu sebelum pubertas. Studi-studi radiologis pada tungkai bawah dan tulang *columna vertebratae* pada para pelari telah menunjukkan dampak positif yang sama dari aktivitas kronis.

Hasil ini berpengaruh terhadap masa dewasa muda yang disarankan ununtuk mengoptimalkan kepadatan tulangnya. Penelitian cross-sectional

menunjukkan bahwa orang dewasa dengan gaya hidup aktif memiliki massa tulang yang lebih besar dibandingkan dengan orang dewasa yang tidak aktif, dan penelitian longitudinal menunjukkan bahwa olahraga bisa meningkatkan massa tulang. Bahkan pada wanita post-menopause, olahraga bisa menambah tulang, dan olahraga penting untuk mempertahankan massa tulang yang kalau tidak dijaga akan berkurang lewat penuaan. Penambahan ‘sederhana’ bisa timbul pada individu yang mengalami penuaan, tapi kontribusi terbesar olahraga adalah untuk mengurangi pengurangan tulang yang bisa terjadi jika tingkat aktivitas jasmaninya tidak cukup.

Tipe latihan sangatlah penting dan hal ini akan didiskusikan lebih lanjut pada Bab 15. Aktivitas penahanan berat, seperti berjalan dan berlari, dikaitkan dengan tambahan tulang tetapi efeknya mungkin tidak sama besarnya dalam aktivitas lain seperti berenang dan bersepeda. Para perenang elit terlihat memiliki kepadatan tulang yang lebih rendah dibanding para atlet elit lainnya, dan atlet angkat berat memiliki kepadatan tulang yang paling tinggi. Seperti ditunjukkan gambar 6.1. perubahan positif awal timbul perlahan, sedangkan terhadap aktivitas yang berkurang respon awalnya sangat cepat, sehingga program olahraga harus teratur dan dijaga sampai waktu yang lama agar bermanfaat. Periode suatu siklus pemodelan ulang adalah sekitar 3 bulan dan sekitar tiga atau empat siklus pemodelan ulang akan diperlukan untuk mencapai suatu bentuk stabil dalam merespon pada aktivitas jasmani yang meningkat.

Sejauh ini, dampak positif dari latihan telah ditekankan tetapi istilah ‘resep olahraga’ yang sering kali digunakan mengimplikasikan bahwa ada dosis maksimal yang boleh dipenuhi. Apa akibatnya kalau melebihi dosis? Sebuah penelitian binatang dan bukti klinis terhadap seorang atlet junior elit menyatakan bahwa aktivitas jasmani yang terlalu sering bisa berakibat maladaptasi pada tulang yang sedang tumbuh. Patah tulang bisa terjadi pada dewasa muda, terutama jika aktivitas jasmani itu cepat seperti dalam penerimaan angkatan bersenjata.

Contoh-contoh ini menekankan bahwa dari tingkat aktivitas dasar awal terjadi peningkatan secara bertahap, yang menimbulkan adaptasi positif. Selama aktivitas yang intensif bisa terjadi perubahan-perubahan negatif, yang bisa menyebabkan cedera seperti patah. Periode imobilisasi yang berlanjut bisa

mengakibatkan tulang menjadi lebih lemah. Selama masa rehabilitasi, setelah perbaikan titik yang cedera, tulang akan mengalami pulih asal. Bagi para pelatih dan ahli medis, olahraga sangat penting untuk memastikan bahwa kejadian yang sama tidak akan terulang lagi pada atlet elit karena kehilangan kekuatan itu sangat cepat dibandingkan dengan pengembaliannya. Gambar 6.1 menunjukkan bahwa ada tingkat aktivitas maksimal untuk tiap orang dan tantangan untuk para pelaku olahraga untuk menentukan tingkat tersebut pada seorang individu.

Box 6.2. Apakah latihan memiliki suatu dampak positif atau negatif terhadap tulang-tulang pelari puteri dewasa?

Penelitian ini merupakan suatu upaya kolaboratif antara Pusat Penelitian Dasar dan Klinis, Ballerup, Denmark, dan Department of Gynaecology, University of Copenhagen. Tujuannya adalah untuk menentukan kelaziman gangguan menstruasi dan hormonal seks pada para pelari puteri, dan untuk menyelidiki berbagai dampak dari latihan pada massa dan metabolisme tulang. Ukuran fitness, status *gynecologic*, massa tulang, dan metabolisme tulang diambil dari 205 pelari pre-menopausal yang dibagi ke dalam tiga kelompok; ‘aktif normal’, ‘pelari rekreasi, dan ‘pelari elit’.

Menstruasi yang tidak teratur adalah yang paling lazim pada kelompok pelari elit, yang berlari rata-rata 67 km per minggu dan berlatih paling intensif. Muatan mineral tulang tubuh (BMC) dan kepadatan mineral tulang regional (BMD) diukur dengan menggunakan DEXA (*dual exposure X-ray absorptiometry*). BMC tubuh total dan BMC regional dan BMD adalah sama pada semua kelompok. BMD tulang belakang lumbar secara signifikan lebih sedikit pada pelari elit ketimbang pada wanita aktif pada umumnya; namun demikian, perbedaan ini tidak berlanjut ketika penyesuaian dibuat dalam usia dan indeks massa tubuh diantara kedua kelompok tersebut. Tes-tes biokimia pada dan urin para pelari mengindikasikan pergantian tulang yang sama dalam ketiga kelompok pelari. Secara rata-rata, para pelari *amenorrhoeic* menunjukkan kepadatan tulang spinal sekitar 10 persen lebih sedikit dari para pelari yang sedang menstruasi pada normalnya.

Penulis menyimpulkan bahwa berbagai dampak negatif dari lari jarak jauh bagi wanita telah terlalu ditekankan, kecuali dalam situasi jarang dimana menstruasi terjadi selama satu periode yang panjang.

Sumber: Hetland, M.L., Haarboi, J., Christiansen, C., & Larsen, T. (1993), Lari menyebabkan gangguan menstruasi tetapi massa tulang tidak terpengaruh, kecuali pada wanita amenorrhoeic, *The American Journal of Medicine*, 95, 53-60.

Tulang adalah organ hidup yang dinamis yang dapat sembuh setelah cedera

Perlu diingat bahwa tulang adalah lebih seperti sebuah pohon ketimbang suatu potongan pohon karena tulang adalah jaringan yang hidup, dinamis, dan aktif secara metabolis dengan persediaan darah yang baik. Ia mengalami remodelling yang kontinyu sehingga mampu sembuh dari kerusakan. Tahap utama selama penyembuhan patah adalah sebagai berikut: selama patah, tulang dan jaringan yang mengelilinginya berdarah ketika pembuluh darah pecah. Lalu gumpalan darah terbentuk, dan kemudahan pembuluh kapiler mencapai gumpalan darah dan membawa sel dan makanan. Callus yang berserabut memenuhi daerah antara ujung tulang yang patah dan kemudian callus tulang menggantikan callus serabut. Rehabilitasi fisik yang cocok itu penting karena kekuatan tulang terakhir akan bergantung pada remodelling callus tulang dan re-modelling itu dipengaruhi oleh aktivitas jasmani.

Struktur dan ruang gerak sendi dipengaruhi oleh tingkat aktivitas yang berbeda

Pemanasan biasanya dianjurkan sebelum melakukan aktivitas jasmani. Banyak orang yang percaya bahwa pemanasan dilakukan hanya untuk alasan kardiovaskular, termasuk meningkatkan denyut jantung, tapi sebenarnya ada juga efek positifnya terhadap sistem musculoskeletal. Selama siklus latihan, seperti jogging, sendi-sendi tungkai bawah terus bergerak dalam kisaran pergerakan mereka. Akibat jangka pendek dari aktivitas ini pada *articular cartilage* adalah bahwa ini menjadi menebal, kemungkinan karena bagian ini menyerap cairan synovial. Cairan synovial mengalir masuk dan keluar *cartilage* dan meningkatkan suplai nutrien dan pengeluaran sampah metabolisme. Akibat jangka panjang dari latihan yang terus-menerus adalah bahwa sambungan tulang rawan menebal,

kecuali jika ada kekuatan tekanan yang berlebihan pada tulang rawan, yang dapat timbul pada saat lari menurun yang berulang-ulang atau pada saat latihan berat yang melibatkan banyak lompatan.

Indikasi penyakit degeneratif sendi, atau *osteoarthritis*, adalah penipisan sambungan tulang rawan dan penebalan lapisan tipis tulang keras di bawah sambungan tulang rawan. Telah dihipotesiskan bahwa berbagai perubahan dalam tulang *subchondral* ini mendahului penipisan *cartilage*. Beberapa studi pada hewan telah menunjukkan bahwa pemuatan impulsif yang berulang menyebabkan pengetatan tulang *endochondral* tipis sehingga *cartilage* dapat menjadi lebih rentan pada kerusakan. Lutut manusia adalah sendi yang biasa terkena oleh *osteoarthritis* dan insidennya meningkat sejalan dengan usia. Secara keseluruhan, wanita mengalami insiden tersebut tiga kali lebih besar. Di samping kemungkinan faktor genetik dan penuaan, faktor lingkungan bisa ditambahkan, seperti obesitas yang dikaitkan dengan resiko *osteoarthritis* yang meningkat.

Banyak ahli klinis yang melaporkan bahwa efek jangka panjang jogging termasuk *osteoarthritis*; namun, penelitian epidemiologis yang meneliti hubungan antara olahraga dengan degeneratif sambungan tulang rawan menemukan bahwa pelari yang teratur tidak mengalami insiden *osteoarthritis* yang meningkat. Penelitian terakhir melaporkan bahwa hubungan antara olahraga dengan perubahan degeneratif pada sambungan tulang rawan yang terjadi setelahnya berkaitan dengan cedera sendi *synovial* sebelumnya, seperti ligamen terkilir. Kerusakan ligamen dapat menciptakan adanya pergerakan tak normal pada sendi *synovial*, yang dihasilkan pada pemuatan lokal yang berlebihan. Dalam sebuah studi radiologis pada hampir 400 guru pendidikan jasmani yang lebih tua, ditemukan bahwa mereka menunjukkan suatu insiden *osteoarthritis* yang lebih rendah ketimbang masyarakat secara umumnya. Hasil dari studi ini memuat para penulis menyimpulkan bahwa meningkatnya kekuatan otot dikaitkan dengan aktivitas jasmani reguler dapat melindungi sendi-sendi yang lemah dari munculnya *osteoarthritis*.

Normalnya kuantitas cairan *synovial* dalam sebuah sendi adalah sangat sedikit. Lutut memiliki kapasitas sendi terbesar dan memuat sekitar 0,2-0,5 ml cairan *synovial* pada sisanya. Setelah berlari 1 atau 2 km, volumenya dapat

meningkat dua atau tiga kali lipat. Dapat diargumentasikan bahwa cairan synovial kemudian dapat lebih baik menjalankan fungsinya dalam lubrikasi dan nutrisi. Secara pasti, latihan jangka pendek membuat cairan synovial menjadi kurang kental, dan oleh karenanya menjadi suatu liubrikan yang lebih baik, tetapi apakah ini mengorbankan properti ini untuk peran perlindungan? Jawabannya adalah 'ya' tetapi karena penebalan *acrtilar cartilage*, sendi kemungkinan lebih baik dilindungi setelah suatu periode pemanasan.

Ligamen adalah struktur penstabil sendi yang pasif dan beban yang bisa ditumpukan beragam ketika sendi digerakkan lewat jangkauan gerak yang penuh. Kekuatan rentang yang turun-naik pada ligamen selama melakukan aktivitas jasmani menimbulkan adaptasi. Ukuran ligamen dan ikatan di dalamnya meningkat sehingga membuat ligamen menjadi lebih kuat dan lebih keras. Sambungan antara ligamen dan tulang pada kedua sisi juga beradaptasi menjadi lebih kuat. Sudah disebutkan bahwa latihan ketahanan lebih memberikan pengaruh positif pada kekuatan ligament daripada latihan sprint.

Kelenturan adalah sebuah istilah umum yang digunakan untuk mengindikasikan jangkauan gerak sendi. Ia seringkali dianggap sebagai salah satu faktor dalam kebugaran jasmanai, yang memberi kesan bahwa kelenturan adalah karakteristik umum individu. Kenyataannya, kelenturan merupakan karakteristik khusus sendi karena berhubungan dengan pola aktivitas normal. Pemanasan biasa, bahkan jika dikombinasikan dengan *massage*, nampaknya hanya berpengaruh sedikit terhadap kelenturan sendi. Karena itu, latihan kelenturan sendi tertentu harus terpisah dari rutinitas pemanasan.

Box. 6.3. Bagaimana rehabilitasi jasmani mempengaruhi ligamen lutut?

Para pekerja penelitian pada Sekolah Ilmu Terapan di Tasmanian State Institute of technology and Department of Aanatomy di University of Queensland menggunakan seekor hewan model untuk menyelidiki sebuah pertanyaan biologis penting yang berkaitan dengan rehabilitasi sistem *musculoskeletal*.

Lima kelompok tikus, dengan 10 tikus dalam setiap kelompoknya, dipelajari untuk menyelidiki dampak dari immobilisasi, berenang setelah immobilisasi, dan

latihan berenang, pada kekuatan ligamen. Setiap sesi pelatihan adalah 1 jam dan intensitas berenang berkurang. Setiap hari ke-4 menjadi hari istirahat dan periode pelatihan adalah 6 minggu. Pada akhir periode eksperimental baik ligamen *cruciate anterior* maupun *posterior* secara mekanis diuji dalam teknik pengujian sebuah mesin tensil. Kekuatan dan kekerasan diukur dan mode kegagalan pada setiap ligamen ditentukan secara mikroskopis. Ketiga ligamen mengalami kegagalan, substansi sedang mereka dapat pecah, tetesannya dapat terjadi pada satu bagian/ujung, atau tulang dekat lokasi penyematan dapat terpisah dari tulang di sekelilingnya.

Baik kekuatan dan kekerasan ligamen *cruciate anterior* dikurangi setelah 4 minggu immobilisasi tetapi kekuatan ligamen *cruciate posterior* secara signifikan tidak terlalu terpengaruh. Telah diajukan bahwa penemuan ini adalah karena adanya perubahan yang lebih besar dalam kekuatan yang diterapkan pada ligamen *cruciate anterior* selama aktivitas normal. Program pelatihan berenang 6 minggu tidak cukup memadai untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan ligamen di atas nilai-nilai normal, tetapi ini mencukupi untuk mengembalikan ligamen pada nilai normal mereka setelah 4 minggu immobilisasi

Pada hewan-hewan ini, tulang pada lokasi pemasangan ligamen cenderung untuk mengalami kegagalan sedangkan pada hewan yang mengalami remobilisasi, ligamen itu sendiri cenderung untuk mengalami kegagalan, dengan mengindikasikan bahwa rehabilitasi berenang meningkatkan properti mekanis pada jaringan tulang. Para penulis memperingatkan pembaca bahwa periode remobilisasi yang diperlukan setelah pembedahan ligamen adalah lebih lama dari 6 minggu karena kombinasi dampak trauma dan immobilisasi pada ligamen tersebut.

Sumber: Larsen, N.P., Foowood, M.R. & Parker, A.W. (1987), Immobilisasi dan penahanan ligamen-ligamen penting pada tikus, *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 58, 260-64).

Struktur dan fungsi otot dipengaruhi oleh tingkat aktivitas yang berbeda

Istilah ‘fleksibilitas’ dan ‘ruang gerak sendi’ mengindikasikan bahwa beberapa struktur spesifik pada sendi synovial dapat membatasi pergerakan. Pada sebagian besar kasus, pembatasan berkaitan dengan unit-unit musculotendinous

yang meregang pada sendi-sendi. Pada kenyataannya sebagian besar latihan fleksibilitas meregangkan unit-unit *muscle-tendon* dan bukan kapsul sendi atau ligamen. Hal yang menarik, fleksibilitas yang berkaitan dengan panjang *muscle-tendon* dirasakan sebagai 'baik' tetapi ketika ligamen-ligamen diregangkan, sendiri dapat diklasifikasikan sebagai 'rapuh', yang dipandang sebagai buruk karena dikaitkan dengan meningkatnya resiko cedera.

Penelitian pada pesenam remaja dan orang-orang lanjut usia mengindikasikan bahwa ketika latihan fleksibilitas dilakukan secara teratur, pengurangan normal pada ruang gerak sendi bisa dihindari atau bahkan dipertahankan. Tentu saja latihan peregangan yang dilakukan secara teratur selama beberapa minggu, bulan, atau tahun dapat meningkatkan kelenturan sendi. Ketika peningkatan ini terjadi, bagaimana keseluruhan otot merespon pada peregangan statik reguler? Perlu diingat bahwa keseluruhan otot terdiri dari jaringan otot dan konektif. Apakah jumlah *sarcomeres* dalam rangkaian yang membentuk setiap serat otot meningkat, atau apakah ekstensibilitas dan elastisitas komponen jaringan konektif meningkat. Dengan kata lain, apakah sebuah otot berkembang lebih panjang atau menjadi lebih panjang sebagai akibat dari latihan fleksibilitas? Jawabannya mungkin bahwa ekstensibilitas yang meningkat pada jaringan konektif merupakan faktor dominan meskipun jumlah *sarcomeres* akan beradaptasi secara cepat pada perubahan rentang kebiasaan.

Para pelatih berat sering dipandang sebagai 'terikat otot' yang mengindikasikan bahwa perkembangan otot mereka menghasilkan suatu penurunan berikutnya dalam kisaran pergerakan sendi. Dengan teknik latihan berat yang benar, termasuk latihan kelenturan, jangkauan gerak bisa dipertahankan dan bahkan ditingkatkan. Ketika program latihan berat dimulai biasanya terjadi peningkatan kekuatan yang cepat, diikuti oleh efek stabil, dan kemudian peningkatan bertahap selanjutnya. Awalnya terjadi fase adaptasi neural (*neurothropic phase*) diikuti oleh masa *hypertrophy* otot yang lebih lama (*hypertrophic phase*) di mana daerah persimpangan setiap serabut otot meningkat. Efek utama dari latihan berat adalah *hypertrophy* pada serabut otot. Efek jangka panjang latihan ketahanan berhubungan sekali dengan perubahan dalam serabut

otot untuk membuat otot tidak cepat pegal, tapi terdapat peningkatan pada jumlah relatif jaringan penghubung dalam seluruh otot.

Latihan berpengaruh positif pada tendon tapi, sama dengan struktur jaringan penghubung lainnya, tingkat adaptasinya lebih rendah dibanding pada otot. Pada tendon terdapat peningkatan sintesis kolagen dan serat kolagen menaik lebih teratur dalam arah longitudinal. Sama dengan jaringan lainnya, latihan yang terlalu berat bisa mengakibatkan cedera. Ketika ketegangan otot terjadi, biasanya terjadi pada sambungan antara otot dan tendonnya.

Ukuran, bentuk, dan komposisi tubuh bisa diubah dengan latihan

Telah ditekankan pada bab 4 dan bab 5 bahwa *somatotype* seseorang itu lebih *phenotype* daripada *genotype*, yang mengimplikasikan bahwa *somatotype* bisa dimodifikasi dengan faktor seperti latihan. Walaupun ada sejumlah kontrol genetik tertentu terhadap jumlah lemak dan distribusinya, kombinasi aktivitas yang meningkat dan berkurangnya asupan energi lewat diet akan mengurangi kandungan lemak dalam badan. Semua penelitian yang membandingkan atlet dengan orang yang pasif menemukan bahwa atlet memiliki lemak yang lebih sedikit dan massa tubuh tak berlemak yang lebih besar. Dengan kata lain, latihan dapat mengakibatkan lipatan kulit berkurang, tapi lingkaran otot pada lengan dan kaki akan meningkat.

Faktor gaya hidup berperan penting dalam menentukan bentuk tubuh

Atlet tertentu, seperti binaragawan, atlet angkat berat, dan penari balet memiliki bentuk tubuh yang tidak biasa yang lebih berhubungan dengan adaptasi mereka terhadap latihan daripada perbedaan yang ditentukan sebelum lahir. Saat dilakukan pengukuran ditemukan bahwa ukuran tulang, seperti lingkaran pergelangan tangan, lutut dan pergelangan kaki relatif normal. Lebar dari ujung panjang tulang tidak rentan terhadap latihan. Lingkaran otot, seperti bicep, relatif besar pada atlet angkat berat, sebagai akibat dari *muscle hypertrophy*, dan relatif kecil pada penari balet, berkaitan dengan tuntutan latihan mereka termasuk aktivitas jasmani dan diet. Latihan bisa mempengaruhi faktor fisik dan fisiologis pada masa hidup kapanpun.

Ukuran dan tipe tubuh berkaitan dengan penampilan dalam olahraga dan event-event berbeda dalam olahraga

Satu contoh yang baik dari *kinantropometry* diberikan oleh kutipan berikut ini: ‘Pelembar lembing dan pesenam secara praktis memiliki *somatotype* yang serupa, meskipun pelembar lembing, dengan ukuran 179,5 cm dan 76,7 kg, jauh lebih besar ketimbang pesenam, dengan ukuran 167,4 cm dan 67,1 kg.’ (M. Hebbelinck & W.D. Ross (1974), *Kinantropometry* dan biomekanik, hal, 545, dalam R.C. Nelson & C.A. Morehouse (eds), *Biomechanics IV*, Baltimore University Park Press). Setelah membaca bagian berikutnya pada buku ini mengenai biomekanik, anda mungkin akan menyukai untuk menjelaskan persamaan dan perbedaan ini. Satu aspek penting adalah perbedaan yang besar dalam pengukuran ukuran, seperti tinggi dan berat badan. Tinggi ditetapkan secara genetik dan tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan di bawah kondisi-kondisi normal. Oleh karena itu, performa olahraga dipengaruhi oleh faktor yang ditetapkan secara genetik dan juga latihan serta adaptasi fisik pada pelatihan. Berbagai dimensi jasmani yang tidak dapat diubah sering digunakan dalam identifikasi bakat, sebuah topik yang dieksplorasi secara lebih jauh dalam Bab 3 buku ini.

Dalam satu olahraga, *event-event* berbeda terutama membutuhkan baik ketahanan maupun kekuatan. Rangkaian keduanya terlihat dalam lari, di mana sprint 100 m dan maraton berada pada dua ujung rangkaian kekuatan-ketahanan. Dalam lari, berat tubuh atlet harus dipindahkan ke depan dan pelari cenderung lebih ringan daripada rata-rata orang; mereka menjadi lebih ringan seiring dengan pertambahannya jarak. Pelari sprint dan jarak menengah cenderung lebih jangkung dari yang normal, tapi pelari jarak jauh cenderung lebih pendek daripada rata-rata orang.

Event seperti tolak peluru bahkan membutuhkan kekuatan yang lebih besar daripada sprint, dan tinggi juga menguntungkan karena tolakan bisa dilepaskan dari ketinggian yang lebih besar. Atlet tolak peluru dan pelembar lembing cenderung lebih jangkung dan lebih berat daripada atlet *track and field* lainnya. Berat tubuh tidak begitu dibatasi karena mereka tidak harus memindahkan tubuh mereka atau memindahkan pusat beban dalam lari jarak jauh. Selain itu, suatu

pemindahan yang besar massa tubuh akan menjadi menguntungkan bagi perkembangan kekuatan yang diperlukan dalam pergerakan eksplosif.

Somatotype juga berubah sesuai dengan tuntutan perubahan kekuatan dan ketahanan. Ketika ada komponen kekuatan tinggi, seperti dalam tolak peluru dan lembing, atlet-atlet itu sangat *mesomorfis* dan mereka cenderung bergerak dari posisi ini pada *somatochart* ke bawah dan ke kanan pada saat komponen ketahanan meningkat.

Box 6.4 Apakah ada perbedaan antara atlet dengan olahraga yang berbeda?

Studi-studi *kinanthropometric* dijalankan oleh sebuah kelompok penelitian di Sekolah Pendidikan pada Flinders University of South Australia yang dipimpin oleh Bob Withers. Metode *anthropometric somatotype Health-carter* digunakan untuk mengkarakterkan 206 olahragawan nasional dari 17 olahraga dan 127 olahragawati dari 10 olahraga. *Endomorphy* dikoreksi bagi tinggi badan. Usia, tinggi dan massa dilaporkan secara terpisah.

Olahragawan paling *mesomorfis* adalah atlet angkat berat sedangkan yang paling tidak *mesomorfis* adalah pelari jarak jauh. Dengan sampel 135 wanita, atlet wanita kurang *endomorfis*, agak lebih *mesomorfis*, dan lebih *ektomorfis*. Penelitian lain menemukan bahwa kecenderungan untuk *endomorfis* menurun seiring dengan peningkatan tingkat aktivitas jasmani.

Peneliti menekankan bahwa banyak faktor lain selain ukuran dan bentuk tubuh untuk menentukan penampilan olahragawan yang sukses. Terutama dalam permainan lapangan yang membutuhkan sederet keahlian, terutama pasangan persepsi-aksi, juga komponen kebugaran lainnya.

Ukuran, bentuk, dan komposisi tubuh dapat diubah dengan latihan olahraga

Telah ditekankan bahwa *somatotype* seseorang merupakan suatu *phenotype* ketimbang suatu *genotype*, yang mengimplikasikan bahwa *somatotype* dapat diubah oleh beberapa faktor seperti latihan. Meskipun terdapat sejumlah kontrol genetik pada jumlah lemak tubuh dan distribusinya, suatu kombinasi aktivitas yang meningkat dan berkurangnya asupan energi melalui pola makan akan menurunkan muatan lemak pada tubuh. Dengan mengikuti suatu kelajiman

seperti ini berarti bahwa seseorang akan menjadi kurang *endomorphie*. Semua studi yang telah membandingkan para atlet dengan populasi yang menetap telah menemukan bahwa para atlet memiliki lebih sedikit lemak tubuh dan suatu massa tubuh yang lebih besar, sebagian karena adanya suatu massa skeletal yang meningkat. Jadi, latihan olahraga tidak dapat mengubah tingkat *ectomorphy* seseorang karena penurunann dalam *endomorphie* dapat diseimbangkan dengan suatu peningkatan dalam *mesomorphy*. Dengan kata lain, *skinfold* akan menurun tetapi lingkaran otot pada lengan dan kaki akan meningkat.

Faktor gaya hidup berperan penting dalam menentukan bentuk tubuh

Beberapa atlet, seperti atlet angkat berat, binaragawan dan penari balet terlihat memiliki bentuk tubuh yang tidak biasa yang berkaitan lebih pada adaptasi mereka pada pelatihan ketimbang pada perbedaan yang ditetapkan sebelum kelahiran. Ketika pengukuran atlet angkat berat dan penari balet dibandingkan dengan yang ada pada populasi normal, persamaan dan perbedaan yang menarik akan terlihat. Pengukuran ukuran badan, seperti lingkaran paha, lutut, dan mata kaki, relatif normal. Perlu diingat bahwa tulang pada tangkai (*shaft*) atlet angkat berat cenderung untuk menjadi lebih padat dan lebih berat (seperti yang dilaporkan sebelumnya) tetapi parameter ini tidak diukur dalam protokol *anthropometric* yang normal.

Keterkaitan antara Biomekanik khususnya Muskuloskeletal dengan Paedagogi Olahraga

Biomekanik merupakan ilmu pengetahuan yang menerapkan hukum-hukum mekanik terhadap struktur hidup, yang terutama sistem lokomotor dari tubuh. Bio mekanik juga membahas dan menganalisis macam-macam bentuk serta gerakan yang berdasarkan prinsip-prinsip mekanika. Imam Hidayat (1999:6) menjelaskan tentang teknik adalah; “kemampuan untuk memanfaatkan prinsip dan teori dalam meningkatkan keterampilan dengan cara yang efisien. Dengan memahami biomekanika, maka akan dapat melakukan aktivitas gerakan dengan efisien. Efisiensi suatu gerakan dapat ditandai dengan terkontrolnya suatu gerakan dengan penggunaan energi yang optimal sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dapat

dikatakan bahwa dalam melakukan suatu gerakan dengan menggunakan teknik yang benar.

Paedagogi olahraga merupakan ilmu yang mempelajari proses belajar mengajar olahraga, baik didalam maupun di luar sekolah yang meliputi rencana, proses dan hasil. Kurikulum merupakan seperangkat pengalaman belajar yang tersusun dan yang harus ditempuh oleh siswa untuk mencapai tujuan pembelajaran. Dalam menempuh pengalaman-pengalaman belajar tersebut, guru penjas sangat berperan untuk membimbing siswa agar berkembang baik pemahaman, keterampilan, maupun sikapnya.

Dalam membimbing siswa dalam pembelajaran olahraga, selain memiliki kompetensi paedagogi, guru olahraga dituntut menguasai materi pokok dan penunjangnya. Materi pokok pembelajaran olahraga dapat diperoleh berdasarkan kurikulum pembelajaran, sedangkan materi penunjang dapat diperoleh dari pengalaman-pengalaman studi sewaktu menempu profesi sebagai guru penjas.

Seperti kita ketahui kurikulum sekolah di Indosesa masih bernuansa kecabangan olahraga. Dengan demikian tuntutan pembelajaran syarat dengan penguasaan keterampilan olahraga. Untuk membimbing meningkatkan keterampilan siswa dalam cabang olahraga dibutuhkan ilmu-ilmu yang menunjang prestasi keterampilan suatu cabang olahraga. Salah satu ilmu penunjang untuk meningkatkan keterampilan olahraga adalah ilmu biomekanik.

Seperti sudah dijelaskan di atas bahwa ilmu biomekanik membahas dan menganalisis macam-macam bentuk serta gerakan yang berdasarkan prinsip-prinsip mekanika. Memanfaatkan prinsip dan teori mekanika tersebut bertujuan untuk meningkatkan keterampilan dengan cara yang efisien. Jadi jelas dengan memahami ilmu biomekanik, guru penjas akan dapat menerapkannya dalam proses pembelajaran dan akan membantu siswa dalam meningkatkan keterampilannya.

Sebagia contoh, bila guru penjas menguasai ilmu biomekanik, khususnya memahami penyesuaian otot terhadap latihan, maka selain membantu meningkatkan dan mengembangkan otot melalui aktivitas latihan untuk memperoleh keterampilan, juga tidak kalah pentingnya untuk menghindari atau menjaga agar tidak terjadi cedera didalam proses pembelajaran keterampilannya.

Kepustakaan:

Abernethy, Bruce, et.al. 1996. *The Biophysical Foundations of Human Movement*. Human Kinetties, The Unuversity of Queensland. Australia.