

**ASPEK ANATOMI DAN BIOMEKANIK
TULANG LUMBOSAKRAL
DALAM HUBUNGANNYA DENGAN
NYERI PINGGANG**

OLEH :
dr. VITRIANA, SpRM

SMF REHABILITASI MEDIK
FK UNPAD/RSUP Dr.HASAN SADIKIN
FK UI/RSUPN Dr.CIPTOMANGUNKUSUMO
2001

ASPEK ANATOMI DAN BIOMEKANIK TULANG LUMBOSAKRAL DALAM HUBUNGANNYA DENGAN NYERI PINGGANG

I. Pendahuluan

Nyeri pinggang saat ini merupakan suatu keadaan yang menyebabkan terjadinya inefisiensi pada suatu pekerjaan dan merupakan kondisi yang paling banyak membutuhkan perawatan kesehatan. Hal ini akan menyebabkan timbulnya gangguan dalam produktifitas kerja sehingga secara langsung dan tidak langsung akan mempengaruhi ekonomi.

Struktur tulang belakang merupakan struktur yang kompleks, sehingga untuk memahami secara lengkap tentang gejala nyeri pinggang dan melakukan pemeriksaan tulang belakang bagian lumbosakral, seseorang harus memahami dulu struktur normal dan kinetik dari neuromuskuloskeletal tulang belakang^(1,2,3).

II. Anatomi Tulang Belakang Lumbosakral

2.1 Elemen-Elemen Tulang

2.1.1 Vertebrae Lumbal

Ukuran tulang vertebrae lumbal semakin bertambah dari L1 hingga L5 seiring dengan adanya peningkatan beban yang harus disokong. Pada bagian depan dan sampingnya, terdapat sejumlah foramina kecil untuk suplai arteri dan drainase vena. Pada bagian dorsal tampak sejumlah foramina yang lebih besar dan satu atau lebih orificium yang besar untuk vena basivertebral. Corpus vertebrae berbentuk seperti ginjal dan berukuran besar, terdiri dari tulang korteks yang padat mengelilingi tulang medular yang berlubang-lubang (*honeycomb-like*). Permukaan bagian atas dan bawahnya disebut dengan *endplate*. *End plates* menebal di bagian tengah dan dilapisi oleh lempeng tulang kartilago. Bagian tepi *end plate* juga menebal untuk membentuk batas tegas, berasal dari *epiphyseal plate* yang berfusi dengan corpus vertebrae pada usia 15 tahun. (Gb.2.1)^(2,4).

Lengkung vertebrae merupakan struktur yang berbentuk menyerupai tapal kuda, terdiri dari lamina dan pedikel. Dari lengkung ini tampak tujuh tonjolan processus, sepasang prosesus superior dan inferior, prosesus spinosus dan sepasang prosesus transversus. Pedikel berukuran pendek dan melekat pada setengah bagian atas tulang vertebrae lumbal. Lamina adalah struktur datar yang lebar, terletak di bagian medial processus spinosus. Processus spinosus sendiri merupakan suatu struktur datar, lebar, dan menonjol ke arah belakang lamina. Processus transversus menonjol ke lateral dan sedikit ke arah posterior dari hubungan lamina dan pedikel dan bersama dengan processus spinosus berfungsi sebagai tuas untuk otot-otot dan ligamen-ligamen yang menempel kepadanya. Processus articular tampak menonjol dari lamina. Permukaan processus articular superior berbentuk konkaf dan menghadap ke arah medial dan sedikit posterior. Processus articular inferior menonjol ke arah lateral dan sedikit anterior dan permukaannya berbentuk konveks^(1,2,4,5).

Gambar. 2.1 Vertebra lumbal

Sendi facet (Gb.2.2) disebut juga sendi zygapophyseal. merupakan sendi yang khas. Terbentuk dari *processus articular* dari *vertebrae* yang berdekatan untuk memberikan sifat mobilitas dan fleksibilitas. Sendi ini merupakan *true synovial joints* dengan cairan sinovial (satu *processus superior* dari bawah dengan satu *processus inferior* dari atas). Manfaat sendi ini adalah untuk memberikan stabilisasi pergerakan antara dua *vertebrae* dengan adanya translasi dan torsi saat melakukan fleksi dan ekstensi karena bidang gerakannya yang sagital (Gb.2.3). Sendi ini membatasi pergerakan fleksi lateral dan rotasi. Permukaan sendi facet terdiri dari kartilago hialin. Pada tulang belakang lumbal, kapsul sendinya tebal dan fibrosa, meliputi bagian dorsal sendi. Kapsul sendi bagian ventral terdiri dari lanjutan *ligamentum flavum*. Ruang deltoid pada sendi facet adalah ruang yang dibatasi oleh kapsul sendi atau *ligamentum flavum* pada satu sisi dan pertemuan dari tepi bulat permukaan kartilago sendi artikuler superior dan inferior pada sisi lainnya, ruang ini diisi oleh meniscus atau jaringan fibro adipose yang berupa invaginasi rudimenter kapsul sendi yang menonjol ke dalam ruang sendi. Fungsi meniscus ini adalah untuk mengisi kekosongan sehingga dapat terjadi stabilitas dan distribusi beban yang merata (Gb.2.4) (1,2,3,4).

Gambar 2.2 Konstruksi sendi facet. Permukaan artikulasi sendi dilapisi oleh kartilago. Sendi dilapisi oleh membran yang mensekresi cairan yang melubrikasi sendi.

Gambar 2.3 Sendi antara vertebrae dibentuk oleh elemen-elemen yang berbeda. Sebuah diskus memisahkan corpus setiap vertebrae dan bekerja seperti sebuah bola penyangga agar vertebrae dapat menekuk dan berputar serta berfungsi sebagai penyerap tekanan. Sendi facet dari processus articularis membentuk fulcrum, menyebabkan dapat terjadinya pergerakan menjepit oleh sendi spinalis ketika tulang belakang menekuk ke depan atau ke belakang.

Gambar 2.4 Diagram yang menampakkan fibro-adipose meniscoid dari sendi facet menurut Engel dan Bogduk. a. processus artikular inferior vertebra diatas; b. processus artikuler superior vertebra di bawah; c. kartilago artikuler;d. kapsul sendi; e.pembuluh darah; f. sel-sel jaringan adipose di dasar meniscoid; g. *fibrous cap* meniscoid.

2.1.2 Sacrum

Merupakan tulang besar berbentuk segitiga terdiri dari lima vertebrae yang berfusi (Gb.2.5). Berartikulasi pada bagian proksimal dengan lima tulang lumbal, bagian lateral dengan ilium, dan bagian distal dengan coccyx. Di tengah permukaan cembung bagian dorsal terdapat kurang lebih empat processus spinosus yang bersatu membentuk *medial sacral crest*. Di samping *sacral crest* ini, dan sedikit di medial foramina sacralis posterior, terdapat satu seri sendi zygapophyseal yang membentuk *intermediate crest*. Permukaan endopelvis berbentuk konkaf, pada permukaannya terdapat empat pasang foramina sacral pelvis yang berlawanan dengan foramina sacral dorsalis. Ujung runcing sacrum dibentuk oleh vertebra sacrum ke lima yang berartikulasi dengan coccyx. Vertebra ke lima ini membentuk suatu hiatus disebut dengan cornu sacralis^(2,3).

Gambar 2.5 Sakrum tampak dari (A) belakang dan (B) depan. 1. permukaan aurikular; 2. processus artikular; 3. foramen sakral anterior; 4. krista tempat berfusinya corpus anterior; 5. ala; 6. foramen sakralis posterior; 7. krista sakralis median; 8. krista sakralis intermediate; 9. krista sakralis lateral; 10. hiatus sacralis; 11. cornua. (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis).

Bagian sisi sakral dan iliaka dari sendi amphiarthrodial sacroiliaka dilapisi oleh lapisan tebal kartilago hialin (1-3 mm) dan fibrokartilago yang lebih tipis (1mm) (Gb.2.6)

Gambar 2.6 Tampak lateral, memperlihatkan permukaan artikular sakrum

Bagian ventral atau anterior sendi sacroiliaca dilapisi dengan membran sinovial, yang akan menghasilkan sejumlah kecil cairan sinovial. Bagian dorsal, posterior sendi tidak mengandung jaringan sinovial dan dihubungkan dengan perlekatan fibrosa (Gb.2.7).

Gambar 2.7 Tampak transversal sendi sakroiliaka. Bagian anterior sendi dilapisi oleh jaringan sinovial. Bagian posterior dihubungkan oleh jaringan fibrosa.

Segmen paling sering berartikulasi dengan ilium adalah S1, S2 dan S3. Pada saat tertentu, L5 dapat menjadi segmen artikulasi sementara S4 dan L4 jarang sekali. Biasanya lebih sedikit segmen sakral yang terlibat pada pelvis wanita daripada pelvis pria. Terdapat diskus intervertebral yang berbentuk baji pada dasar sakrum dan vertebrae lumbal yang terakhir (diskus lumbosakral). Canalis spinalis akan berlanjut kedalam sacrum dan syaraf sacral akan keluar melalui foramina tulang yang terletak pada bagian anterior dan posterior^(2,3).

Gambar 2.8 Tampak lateral tulang belakang lumbal termasuk artikulasi lumbosacral pada ruang antara L5-S1

5.1.3 Coccyx

Coccygeus (Gb.2.9) yang disebut juga dengan tulang ekor, terdiri dari tiga hingga lima vertebra yang berfusi secara bervariasi. Segmen pertama dan terbesar berartikulasi melalui discus rudimenter dengan permukaan bagian bawah vertebra sacral ke lima dan berbentuk padat. Di bagian posterior, terbentuk coccygeal cornua. Tulang coccygeus tidak mengandung canalis spinalis^(2,3).

Gambar 2.9 Coccyx. 1. processus transversus; 2. hiatus; 3. kornua. (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

2.1.4 Arsitektur Bagian Dalam Vertebra

Susunan trabekular spongiosa vertebrae ditentukan oleh tekanan yang memaparnya. Terdapat tiga buah sistem trabekular (Gb.2.10) pada vertebra, satu vertikal dan dua buah *oblique*. Sistem trabekular vertikal berjalan menghubungkan permukaan superior dan inferior. Sistem oblique superior berjalan dari tepi superior ke processus spinosus dan processus artikular superior melewati pedikel. Sistem oblique inferior menyebar dari ujung inferior melewati pedikel. Saling bersilangnya sistem ini membentuk struktur trabekula yang sangat tipis tetapi sangat kuat, tetapi membentuk bagian anterior corpus vertebrae menjadi area yang lemah sehingga sering mengalami fraktur dengan hanya pemberian energi sebesar 75% energi yang dapat menyebabkan fraktur pada bagian posterior^(2,3).

Gambar 2.10 Garis gaya di bagian dalam vertebrae. (A) sistem trabekular vertikal (B) sistem oblique superior (Garis gaya yang berjalan menghubungkan *endplate* superior dengan pedikel, permukaan artikular superior dan processus spinosus) (C) Sistem oblique inferior (D) Area terlemah corpus vertebra, sebuah tempat yang merupakan lokasi umum terjadinya fraktur.

2.1.5 Canalis Spinalis

Konfigurasi canalis spinalis pada potongan melintang terutama terbentuk oleh bagian posterior lengkung syaraf dan permukaan posterior corpus vertebrae di bagian anteriornya. Bentuk canalis adalah oval pada vertebrae L1 dan berbentuk segitiga pada vertebrae L5 (Gb.2.11). Karena saraf lumbalis yang paling besar terdapat pada L5, sedangkan di daerah tersebut terjadi penyempitan, maka terdapat kemungkinan adanya penjepitan syaraf oleh struktur-struktur pembentuk foramen. Corda spinalis akan berakhir dengan conus medullaris setinggi batas inferior vertebra L1. Area lumbosakral dari canalis spinalis mengandung cauda equina. ^(1,2,3,4,5).

Gambar 2.11 Perubahan bentuk canalis spinalis dari L1 hingga S1. Vertebra tampak dari atas. Dari L1 hingga S1 canalis spinalis akan berubah dari bentuk oval menjadi segi tiga seiring dengan perubahan dari dinding posterior vertebra yang berubah dari concav ke konveks, dan pedikel yang tumbuh menjadi lebih pendek, lebar, bergeser lebih ke lateral dan menonjol lebih ke posterolateral.

2.1.6 Diskus Intervertebralis dan *Endplates*

Diskus intervertebralis merupakan struktur hidrodinamik elastik, penghubung utama antara dua vertebrae yang berurutan. Membentuk sepertiga bagian (33%) dari seluruh panjang vertebrae lumbal (20% pada vertebrae thoraks dan cervical) dan terbentuk dari tiga komponen. Berfungsi sebagai sendi universal, sehingga dapat menyebabkan pergerakan yang lebih besar antara corpus vertebrae daripada jika tulang vertebrae dihubungkan langsung satu dengan yang lainnya (Gb.2.12) ^(1,2,3,4).

Gambar 2.12 Posisi diskus sehingga dapat menyebabkan pergerakan

Komponen pertama, nukleus pulposus, merupakan suatu substansi proteoglikan yang mengandung jaringan fibril kolagen tipe II yang tersusun acak, berbentuk seperti gel yang dipadatkan dalam suatu bentuk mukoprotein terbuat dari air dan sejumlah mukopolisakarida (88% air pada bayi baru lahir dan 70% pada orang tua berumur kurang lebih 70 tahun), sehingga dapat menyerap cukup banyak tekanan. Matriks ini bersifat hidrofilik, mendapatkan air melalui mekanisme imbibisi dan osmosis. Menurunnya kandungan air sejalan dengan pertambahan usia disebabkan oleh karena berkurangnya kandungan proteoglikan secara absolut dan terjadinya perubahan rasio proteoglikan. Proses hilangnya kandungan air ini akan menyebabkan berkurangnya kemampuan nukleus pulposus untuk berfungsi seperti gel dan menahan tekanan. Nukleus pulposus mencakup 40% total area potong lintang diskus. Terletak di posterosentral dan dipisahkan dari tepi periferinya oleh lamellae konsentrik fibrocartilagenous dan protein fibrous dari annulus fibrosus yang membentuk komponen kedua diskus intervertebralis dan tepi luar diskus (Gb.2.13A,2.14).

Annulus fibrosus terdiri dari 10 hingga 20 lamela konsentrik yang memisahkan vertebral endplate dengan nucleus pulposus dan menyebabkan pergerakan terbatas antar vertebra yang berdekatan. Dari permukaan nucleo-annular ke arah luar, ketebalan lamella bertambah secara bertahap. Di setiap lamella, serabut kolagen berjalan oblique dan helicoidal membentuk orientasi sebesar 30° terhadap bidang sendi. Serabut dari lamellae yang berikutnya mempunyai susunan yang serupa, tetapi berjalan dengan arah yang berlawanan sehingga membentuk sudut 120° satu dengan yang lainnya (Gb.2.13B). Orientasi tersebut berfungsi penting ketika serabut merespon gaya yang dipaparkan pada diskus. Kombinasi gaya yang dipaparkan pada diskus akan menyebabkan timbulnya kemungkinan rusaknya serabut annulus (Gb.2.15)^(1,2,3).

Gambar 2.13 (A) Susunan lamelar dari annulus fibrosus. Terdapat peningkatan ketebalan setiap lamella dari nucleus pulposus ke arah luar (B) Orientasi serabut kolagen pada setiap lamellae. Serabut berjalan miring dengan sudut 30° terhadap bidang horizontal. Susunan ini kemudian akan berjalan dengan arah yang berlawanan pada lamellae yang berikutnya. (dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

Gambar 2.14 Susunan serabut fibrocartilagenous annulus fibrosus (A) serabut yang tersusun pada susunan lamelar konsentrik (B) pembesaran bagian sentral diskus 1. Nucleus pulposus 2. annulus fibrosus 3. disposisi horizontal serabut kolagen dari catilagenous endplate (C) susunan serabut bagian perifer diskus 6. serabut luar annulus fibrosus 7. mengikat serabut ke dalam permukaan tulang (serabut tipe Sharpey). (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

Serabut lamellae terluar melekat pada corpus vertebra dengan cara bercampur dengan serabut fibril periosteal. Dua pertiga dari bagian luar annulus fibrosus melekat kuat pada tubuh vertebral diatas dan dibawahnya dengan adanya penetrasi dari serabut *Sharpey's*, sementara sepertiga bagian lagi melekat longgar ke permukaan cartilagenous, yang merupakan komponen ketiga dari diskus (Gb.2.14C). Dengan bertambahnya usia, serabut annulus fibrosus akan berdeteriorisasi dan kehilangan kapasitasnya untuk menahan nucleus pulposus. Jika terdapat stress internal yang cukup besar maka nucleus pulposus akan berpenetrasi melalui annulus dan timbullah keadaan yang dikenal dengan herniasi diskus.

Komponen ketiga diskus adalah kartilago hialin yang terletak di permukaan tulang subchondral yang mendatar disangga oleh bagian spongiosa corpus vertebra. Pada permukaan tulang subchondral ini terdapat sejumlah perforasi kecil yang menyebabkan adanya kontak langsung (tidak berpenetrasi) antara pembuluh darah pada sumsum tulang belakang dan permukaan kartilago (Gb.2.14B). Jalur inilah yang merupakan jalur nutrisi yang utama untuk diskus. Nutrisi untuk diskus dilakukan dengan cara imbibisi yang terjadi karena adanya kompresi dan relaksasi intermiten.

Gambar 2.15 Angulasi serabut annular dalam sejumlah keadaan. (a). Sudut angulasi serabut annular dengan diskus intervertebralis tanpa tekanan dari luar (b). Diskus yang membesar karena imbibisi menyebabkan sudut menjadi lebih kecil (c) dibawah tekanan eksternal sudut semakin membesar (d) Selama fleksi dan ekstensi dari unit fungsional, sudut serabut disesuaikan menurut posisi anterior atau posteriornya (e) menggambarkan angulasi dan panjang serabut annular selama gaya tarikan atau putaran (f) perlekatan serabut yang bersudut dengan endplate vertebrae

2.1.7 Ligamen-ligamen Tulang Belakang

Ligamen Longitudinal Anterior

Ligamen longitudinal anterior (Gb.2.16) merupakan struktur fibrosa yang bermula dari bagian anterior basal tulang occipital dan berakhir di bagian anterior atas sacrum. Serabutnya berjalan dengan arah longitudinal dan melekat pada permukaan anterior seluruh corpus vertebrae. Ligamen ini lebar dan kuat. Serabut terd dalamnya bercampur dengan diskus intervertebralis dan berikatan kuat pada setiap corpus vertebrae. Ligamen ini akan bertambah ketebalannya untuk mengisi bentuk konkaf sesuai dengan konfigurasi corpus vertebrae^(2,3,4).

Gambar 2.16 Tampak anterior vertebrae lumbal. Ligamen longitudinal anterior menutupi permukaan anterior corpus vertebrae dan bercampur dengan serabut anterior annulus fibrosus

Ligamen Longitudinal Posterior

Terletak pada permukaan posterior corpus vertebrae dan merupakan kelanjutan dari membran tektorial, yang berjalan dari bagian basal tulang occipital, pada foramen magnum (Gb.2.17). Ligamen ini membentuk batas anterior canalis spinalis. Pada canalis lumbal, ligamen ini mulai menyempit saat melalui corpus pada vertebrae L1 dan menjadi setengah lebar asalnya pada ruang antara L5 dan S1, meluas ke arah lateral saat melewati diskus. Konfigurasi seperti ini akan menyebabkan bagian lateral menjadi bagian yang paling lemah dan paling mudah untuk terjadinya herniasi diskus.

Gambar 2.17 Tampak posterior vertebrae lumbal. Ligamen longitudinal posterior akan berjalan ke arah lateral untuk melingkupi diskus intervertebralis. Ligamen posterior longitudinal paling lemah pada lokasi ini.

Ligamen Kapsular

Ligamentum kapsular melekat pada tepi processus artikular yang berdekatan. Berkembang baik di tulang lumbal, serabutnya tebal dan berhubungan erat, berjalan tegak lurus terhadap aksis sendi.

Ligamentum Flavum

Dikatakan flavum oleh karena warna kuning yang disebabkan oleh karena kandungan elastin didalamnya sebesar 80%. Bagian atas melekat pada permukaan anterior lamina di atasnya, dan bagian bawah melekat pada tepi posterior atas lamina dibawahnya (Gb.2.18). Pada setiap level vertebrae, perluasan ke arah lateralnya akan membentuk kapsul anterior sendi zygapophyseal dan melekat ke arah proksimal dan distal tepi inferior pedikel di atasnya dan tepi superior pedikel dibawahnya membentuk bagian atap foramenal. Susunan khas ini dikombinasikan dengan adanya kemiringan ke arah anterior dari lamina dan kandungan elastik ligamen yang menahan penekukan, sehingga akan menyebabkan dinding posteroinferior tetap halus dan melindungi elemen syaraf dalam semua posisi pergerakan yang menyebabkan tulang belakang melekuk atau terputar.

Gambar 2.18 Ligamentum flavum yang melekat pada bagian permukaan anterior lamina di atasnya dan berlanjut ke permukaan posterior tepi atas lamina dibawahnya.

Ligamentum Interspinosus

Ligamentum interspinosus (Gb.2.19) merupakan sebuah gabungan serabut-serabut yang berjalan dari dasar processus spinosus yang satu ke ujung processus spinosus selanjutnya. Bersifat rudimenter pada tulang belakang cervical, dimana pada tempat tersebut ligamen interspinosus akan bergabung dengan ligamentum nuchae. Ligamen ini bersifat membranous di bagian thoraks dan berukuran lebar serta tebal di bagian lumbal.

Ligamentum Supraspinosus

Ligamentum supraspinosus (Gb.2.19) merupakan struktur yang berkembang baik, dari ujung vertebrae C7 hingga crista sacralis median, melekat ke setiap processus spinosus. Pada vertebrae lumbal, ligamentum ini berukuran tebal dan lebar, tetapi lebih tipis pada bagian thoraks. Berfungsi membantu mengurangi gaya putaran ke anterior yang dipaparkan pada vertebrae lumbal oleh karena adanya kurva lordotik dan sudut lumbosakral.

Ligamentum Intertransversal

Ligamentum ini berjalan dari processus transversus ke processus transversus yang lainnya. Pada bagian cervical tidak begitu jelas, pada bagian thoraks berbentuk bundar dan tebal sementara pada bagian lumbal lebih tipis. Ligamen ini secara erat berhubungan dengan otot-otot punggung bagian dalam.

Gambar 2.19 Tampak lateral dari vertebrae lumbal yang menunjukkan ligamen-ligamen yang menyokong elemen anterior (longitudinal anterior, longitudinal posterior) dan elemen posterior vertebrae (supraspinosus, intraspinosus). Perhatikan posisi ligamentum flavum yang membentuk dinding posterior yang halus foramen neural.

Ligamentum Iliolumbar

Ligamentum iliolumbar (Gb.2.20) yang melekat pada processus transversus, menghubungkan dua vertebrae lumbal bawah dengan krista iliaca, sehingga akan membatasi pergerakan sendi sakroiliaca. Selama fleksi lateral, ligamen iliolumbar kontralateral akan menjadi tegang sehingga hanya akan memberikan pergerakan L4 rata-rata sebesar 8^0 terhadap sacrum. Fleksi dan ekstensi vertebrae lumbal juga dibatasi tetapi dalam derajat yang lebih kecil daripada fleksi lateral. Ligamen ini merupakan *stabilizer* utama L5 pada sacrum.

Ligamentum Sacroiliaca

Ligamentum sacroiliaca (Gb.2.20) terdiri dari ligamen sacroiliaca posterior yang panjang dan pendek serta ligamentum sacroiliaca anterior. Ligamen sacroiliaca yang pendek (ligamen interosseous) merupakan *stabilizer* sendi yang utama. Ligamen ini tebal dan berbentuk padat mengisi rongga dibelakang dan diatas sendi. Terdiri dari lapisan dalam dan superfisial, yang kemudian akan bersatu dan membentuk lapisan fibrosa yang melingkupi seluruh bagian posterior sendi. Dilapisi oleh ligamentum sacroiliaca dorsal atau panjang, yang terdiri dari sejumlah fasikel serabut yang berjalan dengan arah vertikal dan oblique dari crista sacralis intermediate dan lateral ke spina iliaca posterior dan ilium yang berdekatan. Kekuatan ligamen ini berbeda untuk jenis kelamin. Pada wanita setelah pubertas, berlawanan dengan meningkatnya kekuatan ligamen-ligamen lain, kekuatan ligamen ini akan mengalami penurunan untuk meningkatkan mobilitas, terutama selama kehamilan dan persalinan.

Ligamentum Vertebropelvic

Ligamentum ini (Gb.2.20) menstabilisasi sacrum pada pelvis. Ligamentum sacrotuberous berjalan dari tuberkel transversal ke empat dan ke lima dan tepi lateral sacrum yang berdekatan dengan arah ke bawah dan lateral tepi dalam tuberositas ischial. Ligamentum sacrospinous berjalan dari batas lateral sacrum dan coccygeus ke spina ischiadica. Ligamen-ligamen ini dalam perjalanannya akan membatasi foramen sciatica major pada bagian atas dan foramen sciatica minor dibawahnya.

Gambar 2.20 Tampak anterior dan posterior ligamen-ligamen sendi sacroiliaca. Perlekatan ligamen anterior dan posterior sangatlah kuat. Gangguan perlekatan ini biasanya terjadi hanya ketika terdapat trauma pelvis berat.

2.2 Otot Tulang Belakang Lumbosacral

Lapisan paling superfisial di bawah jaringan sub kutan mengandung fascia lumbodorsal (Gb.2.21). Di bagian medial, fascia ini melekat pada bagian dorsal processus spinosus, bagian inferior dengan crista iliaca dan crista lateral sacrum, bagian lateral berfungsi sebagai origo otot latissimus dorsi dan transversus abdominis, serta bagian superior melekat pada sudut tulang iga di regio thoraks. Fascia ini juga dikelilingi oleh otot-otot sacrospinalis. Dibawah fascia terletak otot-otot multisegmental superficial, yang secara kolektif disebut dengan nama otot erector spinae. Origo fascia ini adalah sebuah tendon tebal yang melekat pada bagian posterior dari sacrum, crista iliaca, processus spinosus dan ligamen supraspinosus^(2,3).

Gambar 2.21 Tampak posterior fascia superfisial dan otot-otot di vertebrae lumbal dan bokong (kiri) dan otot posterior dalam dari vertebrae lumbal dan bokong (kanan)

2.2.1 Ekstensor

Otot-otot ekstensor tersusun dalam tiga lapisan otot (tabel 2.1). Lapisan paling luar (Gb.2.22A) terdiri dari otot besar sacrospinalis (erector spinae). Pada bagian dalam sacrospinalis terdapat lapisan intermediate (Gb.2.22B) yang terbentuk dari otot multifidus^(2,3,7).

Tabel 2.1 Otot – otot ekstensor, deksripsi dan kerjanya

Otot	Deskripsi dan aksi
1. Semi spinalis (thoracic)	Otot ini berjalan diagonal ke atas tulang belakang. Origonya pada processus transversus vertebrae thoraks ke enam hingga ke sepuluh. Inersinya pada processus spinosus vertebrae thoraks atas dan cervical bawah. Ketika dua otot bekerja bersama, maka otot ini akan membantu ekstensi batang tubuh. Bila terpisah, otot ini akan membantu fleksi lateral batang tubuh dan merotasikannya ke sisi yang berlawanan.
2. Erector spinae (sacrospinalis)	Otot ini berjalan naik dari perlekatannya di bagian dorsal crista iliaca, crista sacralis median dan lateral, serta vertebrae lumbal dan thoraks. Terbagi menjadi tiga bagian ketika mencapai bagian atas vertebrae lumbal, yang berjalan dari lateral ke medial, yaitu iliocostalis (insersi : sudut tulang iga), longissimus (insersi : processus transversus lumbal dan vertebrae thoraks) dan spinalis (insersi : bagian posterior vertebrae) (Gb.5.23). Otot ini berinsersi di bagian belakang iga di beberapa tempat menuju vertebrae thoraks dan cervical serta ke dasar tengkorak. Otot ini akan mengekstensikan, rotasi dan fleksi lateral batang tubuh dan leher di sisi sesuai lokasinya.

Otot	Deskripsi dan aksi
3. Multifidus	Otot ini (atau kelompok otot) berjalan kebawah dari sisi tulang belakang. Origonya pada bagian posterior sacrum, bagian atas iliaca dan processus transversus vertebrae thoraks dan lumbal. Otot akan berjalan secara diagonal ke atas dan melekat pada processus spinosus tulang belakang. Bekerja bersama, maka otot ini akan menyebabkan ekstensi batang tubuh dan leher; bila bekerja tunggal, akan sebabkan batang tubuh dan leher berotasi ke sisi yang berlawanan dan fleksi lateral.

Gambar 2.22 Otot-otot columnae spinalis. (A) lapisan superfisial dan (B) lapisan intermediate: 1. splenius capitis; 2. splenius cervicis; 3. iliocostalis cervicis; 4. iliocostalis thoracis; 5. iliocostalis lumborum; 6. spinalis thoracis; 7. longissimus capitis; 8. longissimus cervicis; 9. longissimus thoracis; 10. semispinalis capitis (spinalis capitis bercampur pada otot ini); 11. semispinalis cervicis; 12. semispinalis thoracis; 13. multifidus (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

Gambar 2.23 Tampak posterior otot erector spinae, otot ekstensor utama dari vertebrae lumbal

Lapisan dalam ekstensor (Gb.2.24) terdiri dari sejumlah otot-otot kecil yang tersusun dari satu level ke level lainnya. Interspinalis terdiri dari fasciculi pendek yang menghubungkan pasangan-pasangan processus spinosus yang berurutan dari vertebrae yang berurutan. Intertransversarius (kelompok medial, dorsal lateral, dan ventral lateral), yang menghubungkan pasangan dari processus transversus yang berurutan, terdiri dari dua atau tiga buah otot. Bagian ventrolateral menghubungkan processus transversus yang berdekatan, bagian dorsolateral menghubungkan antar processus accessorius dari satu vertebra ke processus transversus yang lain, dan bagian medial yang menghubungkan processus accessorius dari satu vertebra dengan processus mamilaris yang lain. Otot-otot ini akan mengekstensikan dan menekuk kolumna vertebralis ke sisi yang sama.

Gambar 2.24 Otot-otot columnae spinalis pada hubungan thoracolumbar. Lapisan dalam :1. levator costarum longus; 2. levator costarum brevis; 3. intertransversarius medialis; 4. intertransversarius lateralis; 5. rotator longus; 6. rotator brevis; 7. interspinalis (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

2.2.2 Fleksor Anterior

Fleksor vertebrae lumbal dapat dibagi menjadi kelompok iliiothoracic (ekstrinsik) (Gb.2.25) terdiri dari otot dinding perut, rectus abdominus, oblique eksternus, obliquus internus, intertransversarius serta kelompok femorospinalis (intrinsik) (Gb.2.26) yang terdiri dari otot iliopsoas yang merupakan otot dengan dua buah kepala otot, psoas major dan iliacus (tabel 2.2)^(2,3,6).

Tabel 2.2 Otot-otot fleksor anterior, deskripsi dan aksinya

Otot	Deskripsi dan aksi
1.Rectus abdominis	Dua otot rectus abdominis berjalan vertikal ke atas didepan abdomen. Perlekatan proksimal setiap ototnya adalah diatas tulang pubis dan ligamen-ligamen yang melapisinya di depan pubis. Perlekatan distalnya adalah pada kartilago iga ke lima, enam dan tujuh. Otot ini akan menekan abdomen dan memfleksikan batang tubuh. Ketika hanya satu otot yang berkontraksi, maka otot tersebut akan membantu fleksi lateral
2.Obliquus abdominis eksternus	Otot ini berjalan diagonal melintasi bagian depan dan sisi abdomen. Perlekatan proksimalnya pada delapan iga terbawah. Berjalan secara diagonal ke bawah dan melekat pada crista ilium bagian atas, pubis, dan linea alba. Otot ini akan menekan abdomen dan menyebabkan batang tubuh fleksi, lateral fleksi ke arah yang sama dan rotasi ke sisi yang berbeda.
3.Obliquus abdominis internus	Otot ini berjalan dibawah otot obliquus abdominis eksternus dan serabut-serabut dari dua otot berjalan pada sudut tegak lurus satu dengan yang lainnya. Perlekatan proksimalnya pada crista iliaca. Berjalan longitudinal ke atas dan ke depan, melekat pada enam iga terendah dan linea alba. Otot ini akan menekan abdomen, sebabkan fleksi batang tubuh, fleksi lateral, dan rotasi ke sisi yang sama.
4. Psoas major	Otot kuat ini berjalan secara vertikal melalui bagian dalam regio pelvis. Perlekatan bagian proksimalnya pada corpus dan processus transversus vertebrae thoraks yang terakhir dan seluruh vertebra lumbal. Diantara serabut-serabut otot ini berlalu arteri dan vena lumbal serta rami communicantes simpatic. Otot ini akan berjalan ke bawah dan melekat di bagian dalam kepala femur. Otot ini memfleksikan dan merotasikan paha ke lateral dan membantu fleksi batang tubuh. Memegang peranan penting dalam mempertahankan postur berdiri dan duduk.
5. Iliacus	Otot ini berjalan dari fossa iliaca dan bersatu dengan psoas dibawah ligamentum inguinal, menyilang kapsul sendi pinggul dan berinsersi ke dalam trochanter minor femur. Otot-otot ini akan memfleksikan lumbal ke sisi yang sama.
6.Quadratus lumborum	Otot ini berjalan ke atas di bagian lateral columna vertebralis antara ilium dan bagian bawah iga. Origonya adalah pada bagian posterior crista iliaca dan ligamen iliolumbar dan berinsersi ke dalam iga dua belas dan ujung atas processus transversus vertebra lumbal ke empat. Otot ini memfiksasi iga dua belas ke bawah melawan traksi yang dihasilkan oleh diaphragma selama inspirasi. Menyebabkan fleksi batang tubuh ke lateral dan ekstensi.

Gambar 2.25 Otot-otot dari dinding abdominal. Di sisi kiri, otot obliquus abdominis externus dan dinding anterior dari lapisan otot rectus abdominis telah diangkat.

Gambar 2.26 Tampak depan dari otot fleksor intrinsik tulang belakang lumbal. Quadratus lumborum mempunyai dua lapisan otot. Otot psoas major dan iliacus mempunyai perlekatan bersama di sekitar trochanter minor femur

Gambar 2.27 Otot psoas dalam posisi berdiri dan duduk

2.2.3 Fleksor Lateral

Batang tubuh dapat difleksikan ke sisi kanan atau kiri secara simultan dengan mengkontraksikan otot fleksor dan ekstensor batang tubuh pada sisi dimana diinginkan terjadi fleksi lateral. Fleksi lateral yang murni, walaupun mungkin, tidak murni berasal dari vertebrae lumbal. Secara normal, hal tersebut merupakan kombinasi dari fleksi lateral ke satu sisi dan rotasi. Fleksi lateral secara teoritis dapat dilakukan jika komponen rotasi dinetralisis oleh kelompok otot antagonis. Secara normal aksi seperti ini dilakukan oleh kontraksi ipsilateral dari kedua otot obliquus abdominis, intertransversarius dan quadratus lumborum (Gb.2.21, Gb.2.26). Dari semuanya ini hanya kontraksi unilateral quadratus lumborum yang dapat membawa gerakan fleksi lateral murni. Kontraksi simultan dari quadratus lumborum akan menghasilkan beberapa gerakan ekstensi dari vertebrae lumbal. Secara praktis seluruh otot fleksor dan ekstensor mengambil bagian dalam gerakan fleksi lateral (tabel 2.3)^(2,3,7).

Tabel 2.3 Otot-otot fleksor lateral, deskripsi dan aksinya

Otot	Deskripsi dan aksi
Rectus abdominis	Lihat tabel 2.2
Obliquus abdominis eksternus	Lihat tabel 2.2
Obliquus abdominis internus	Lihat tabel 2.2
Erector spinae	Lihat tabel 2.1
Quadratus lumborum	Lihat tabel 2.2
Semispinalis (thoraks)	Lihat tabel 2.1
Multifidus	Lihat tabel 2.1

2.2.4 Rotator

Rotasi vertebrae lumbal dilakukan oleh kontraksi unilateral otot yang mengikuti arah oblique tarikan; semakin oblique arahnya maka efek rotasinya semakin menonjol. Sebagian besar dari ekstensor dan lateral fleksor berjalan dalam arah oblique dan menghasilkan rotasi ketika komponen utamanya dinetralisis oleh kelompok otot antagonis.

Tabel 2.4 Otot rotator, deskripsi dan aksinya

Otot	Deskripsi dan aksi
1. Obliquus abdominis eksternus	Merotasikan batang tubuh ke sisi yang berlawanan. (Rotasi sisi yang sama berarti bahwa batang tubuh berotasi ke sisi dimana otot berada. Rotasi ke sisi yang berlawanan berarti bahwa ketika otot di sisi kiri berkontraksi, maka akan merotasikan batang tubuh ke kanan; dan ketika otot di sisi kanan berkontraksi, maka akan merotasikan batang tubuh ke kiri.). Lihat tabel 2.2
2. Obliquus abdominis internus	Merotasikan batang tubuh ke sisi yang sama. Lihat tabel 2.2
3. Erector spinae	Merotasikan batang tubuh ke sisi yang sama. Lihat tabel 2.1
4. Semispinalis	Merotasikan batang tubuh ke sisi yang berlawanan. Lihat tabel 2.1
5. Multifidus	Merotasikan batang tubuh ke sisi yang berlawanan. Lihat tabel 2.1

Batang tubuh sebetulnya dapat melakukan gerakan sirkumduksi, tetapi tidak sering dipergunakan dalam pergerakan. Sirkumduksi batang tubuh merupakan hasil dari kombinasi berurutan dari fleksi, fleksi lateral, hiperekstensi, dan fleksi lateral ke sisi lain.

Walaupun bukan bagian anatomis dari punggung bawah, tetapi otot-otot anterior abdominal, seperti rectus abdominis, external abdominal oblique, internal abdominal oblique, transversalis (fleksor pinggul dan batang tubuh), hamstrings (fleksor lutut), quadriceps (ekstensor lutut), gastrocnemius dan soleus (plantar fleksor kaki), merupakan struktur penyangga yang penting dari vertebrae lumbosacral. Kelainan dari otot-otot ini (pemendekan, peningkatan tonus otot) akan menyebabkan kinetik yang abnormal dari vertebrae lumbosacral dan nyeri pinggang. Lokasi dan fungsi otot lumbosacral dan abdominal yang mempengaruhi pergerakan spinal digambarkan pada gambar 2.28.

Gambar 2.28 Potongan melintang dari otot-otot tubuh dan fascia melalui vertebra lumbal ke tiga. Pergerakan utama vertebrae lumbal adalah fleksi, ekstensi, dan lateral bending. (Hanya sebagian kecil rotasi terjadi pada vertebrae lumbal). Fleksor terletak anterior tulang belakang, dan ekstensor di bagian posteriornya. Otot-otot yang menyebabkan lateral bending terletak berdekatan dengan corpus vertebrae di posisi lateral.

2.3 Vaskularisasi

2.3.1 Pembuluh Darah Arteri

Vertebra lumbal mendapatkan suplai darah langsung dari aorta. Empat buah vertebra lumbal pertama suplai darah arterinya berasal dari empat pasang arteri lumbal yang berasal langsung dari bagian posterior aorta didepan corpus ke empat vertebrae tersebut. Setiap arteri segmental atau lumbal bercabang dua sebelum memasuki foramina sacralis (Gb.2.29A). Pertama, cabang yang pendek berpenetrasi langsung ke pinggang corpus vertebrae. Kedua, cabang yang panjang yang membentuk suatu jaringan padat di bagian belakang dan tepi corpus vertebrae. Beberapa cabang-cabang ini akan berpenetrasi di dekat endplate, dan cabang lainnya membentuk jaringan halus diatas ligamen longitudinal dan annulus. Arteri lumbal pada daerah sedikit proksimal dari foramen terbagi menjadi tiga cabang terminal (anterior, posterior dan spinal)(Gb.2.29B). Cabang anterior memberikan suplai kepada syaraf yang keluar dari foramen dan otot-otot batang tubuh. Cabang spinal memasuki foramen dan akan terbagi menjadi cabang anterior, posterior dan radicular. Cabang posterior akan berjalan ke belakang, melewati pars interarticularis untuk berakhir di dalam otot-otot spinal, tetapi sebelumnya memberikan dulu percabangan pada sendi apophyseal dan berhubungan dengan bagian posterior lamina. Di dalam canalis spinalis, cabang posterior spinal membentuk jaringan halus pada permukaan anterior lamina dan ligamentum flavum sementara cabang anterior spinal terbagi menjadi cabang naik dan menurun, yang akan beranastomosis dengan pembuluh yang ada diatas dan dibawahnya membentuk sistem arkuata reguler (Gb.2.29C). Sistem kiri dan kanan dihubungkan pada setiap tingkatan dengan anastomosis transversal yang berjalan dibawah ligamentum longitudinal posterior. Dari anastomosis transversal, sistem arkuata dan pembuluh darah external berjalan di bagian depan vertebra, arteri-arteri berpenetrasi ke dalam corpus dan bergabung ke dalam saluran arterial di sentral (Gb.2.29D). Dari saluran ini, cabang-cabang akan naik dan turun menuju akhiran permukaan tulang belakang dalam bentuk jaringan yang halus dari pembuluh darah yang berjalan vertikal ke dalam tepi vertebral membentuk *capillary bed* (Gb.2.30).

Lumbal lima, sacrum dan coccygeus diperdarahi oleh cabang medial arteri superior gluteal atau hipogastrik. Arteri ini akan mengikuti kontur sacrum dan memberikan percabangannya kepada setiap foramen sacralis anterior. Arteri ini akan memberikan suplai pembuluh darah untuk canalis sacralis dan keluar dari foramina sacralis posterior untuk memberikan percabangannya ke otot punggung bawah^(2,3).

Gambar 2.29 Suplai pembuluh darah . Tulang belakang tampak dari (A) depan dan (B) atas (potongan aksial): 1.aorta; 2.arteri segmental; 3.cabang *long ascending* dan *descending*;4. cabang pendek *ascending* dan *descending*; 5. cabang anterior arteri segmental; 6.cabang spinal arteri segmental; 7.cabang posterior arteri segmental; 8.divisi anterior cabang spinal; (C) tampak belakang dengan elemen posterior yang telah dihilangkan dan (D) tampak samping (potongan sagital bagian tengah corpus): 9. *ascending limb* dari cabang spinal anterior; 10. *descending limb* dari cabang spinal anterior; 11.anastomosis transversal antara sistem kanan dan kiri. (Dari Dupuis dan Kirkaldy-Willis)

Gambar 2.30 Susunan vascular pada vertebral endplate menurut Crock dan Yshizawa. 1 capillary bed pada kontak langsung dengan endplate cartilago; 2. jaringan vena postkapiler 3. *subarticular horizontal collecting system*

2.3.2 Vena

Pola pembuluh darah untuk drainase vena berjalan dengan jalur yang sama dengan suplai arteri. Sistem vena mengalirkan darah dari sistem vena internal dan eksternal ke dalam vena cava inferior. Sistem vena disusun dalam bentuk konfigurasi seperti tangga anterior dan posterior dengan sejumlah hubungan yang bersilangan. Hasil fungsional dari anastomosis luas sistem vena ini adalah adanya pergerakan konstan darah dari pembuluh darah besar ke pembuluh darah kecil dan sebaliknya, tergantung derajat tekanan intra abdominal. Batson memaparkan adanya aliran vena *retrograd* dari pelvis bawah ke dalam vertebrae lumbosacral yang mendasari metastase neoplasma pelvis (prostat) ke tulang belakang.

Pada endplate, drainage venous berasal dari jaringan vena *postcapillary* yang mengosongkan isinya ke dalam sistem *subarticular horizontal collecting* melalui *vertical channels* yang menembus endplates (Gb.2.30). Dari sistem ini, venules akan berjalan ke saluran vena besar di pusat (Gb.2.31A) yang kemudian akan mencabangkan satu atau dua vena basivertebral yang besar. Darah selanjutnya akan dialirkan ke dalam plexus vena vertebral internal. Plexus ini terletak didalam canalis spinalis antara duramater dan vertebra. Dasar plexus ini terbentuk dari dua pasang saluran vena yang berjalan longitudinal, satu di anterior saccus dural dan satu pada bagian posterior, yang beranastomose satu dengan yang lainnya serta dengan plexus vena eksternal (Gb.2.31B).

Plexus anterior eksternal berjalan di depan tubuh vertebra, diskus dan ligamen longitudinal anterior dan berhubungan dengan vena segmental, *left ascending lumbar vein*, dan bila ada, *right ascending lumbar vein*. Bagian posterior plexus vena eksternal terdapat pada bagian permukaan posterior lamina dan sekitar spinosus, articular, dan processus transversus, beranastomose dengan plexus internal, dan berakhir di vena segmental atau lumbal (Gb.2.31A).

Pada tingkat sakral, vena epidural dihubungkan dengan dua vena lateral sacral yang utama dari plexus eksternal.

Gambar 2.31 Sistem vena yang mensuplai tulang belakang lumbosacral. (Dari Wiesel SW, Bernini P. Rothman RH: *The Aging Lumbar Spine*. Philadelphia: WB Saunders Co.1982.)

Pada usia dewasa, tidak ada suplai darah aktif untuk diskus intervertebralis. Walaupun begitu, hingga usia 8 tahun, terdapat sedikit pembuluh darah yang memperdarahi diskus, yang akan secara bertahap mengalami obliterasi selama tiga dekade pertama kehidupan. Seiring dengan berhentinya pertumbuhan, maka nucleus pulposus dan anulus fibrosus tidak lagi mempunyai suplai darah aktif dan menerima suplai darah hanya dalam bentuk transfer cairan jaringan yang melewati permukaan kartilago^(1,2,3).

2.4 Persyarafan Lumbosacral

Syaraf sinuvertebral dianggap merupakan struktur utama syaraf sensoris yang mempersyarafi struktur tulang belakang lumbal. Berasal dari syaraf spinal yang terbagi menjadi divisi utama posterior dan anterior. Syaraf ini akan bergabung dengan cabang simpatetis ramus communicans dan memasuki canalis spinalis melalui foramen intervertebral, yang melekuk ke atas di sekitar dasar pedikel menuju garis tengah pada ligamen longitudinal posterior (Gb.2.33).

Syaraf sinuvertebral mempersyarafi ligamen longitudinal posterior, lapisan superfisial annulus fibrosus, pembuluh darah rongga epidural, duramater bagian anterior, tetapi tidak pada duramater bagian posterior (duramater posterior tidak mengandung akhiran syaraf), selubung dural yang melingkupi akar syaraf spinal dan periosteum vertebral bagian posterior^(2,3).

Gambar 2.33 Tampak aksial dari tulang belakang menunjukkan syaraf sinuvertebral. Syaraf akan memasuki kembali foramen syaraf dari syaraf spinalis untuk menginervasi ligementum longitudinal posterior. (Dari Wiesel SW, Bernini P, Rothman RH: *The Aging Lumbar Spine*. Philadelphia: WB Saunders Co, 1982)

2.4.1 Syaraf Vertebra Eksternal

Periosteum dan tulang vertebrae disuplai oleh sejumlah cabang-cabang kecil syaraf berasal dari sistem syaraf otonom, pleksus paravertebral dan otot-otot yang melapisinya (Gb.2.34B). Dapat juga ditemukan akhiran syaraf bebas yang menghantarkan rasa nyeri dan propiosepsi.

Ligamen longitudinal anterior banyak dipersyarafi oleh sistem syaraf simpatis. Ligamen longitudinal posterior merupakan struktur yang paling banyak dipersyarafi sedangkan ligamentum anterior, sakroiliaka dan interspinosus menerima sedikit akhiran syaraf nociceptive (nyeri).

Bagian posterior vertebrae disuplai oleh cabang medial ramus utama posterior (Gb.2.34A). Secara anatomis rami anterior dan posterior berasal dari percabangan syaraf spinal saat keluar dari foramen, dan memberikan sedikit percabangannya pula pada sendi facet. Rami anterior utama akan berperan dalam pembentukan pleksus lumbal dan sacral serta memberikan beberapa cabang syaraf ke serabut annular yang berdekatan .

Rami posterior utama terbagi menjadi cabang medial dan lateral setelah memberikan cabang menaik ke bagian posterior sendi facet (Gb.2.35).

Cabang medial berjalan di medial dan saat keluar melalui ligamen transversus, akan menyilang permukaan superior dari processus transversus di tepi paling medialnya, berakhir di otot dalam tulang belakang. Mempersyarafi bagian caudal sendi di atasnya dan bagian depan dari vertebra di bawahnya. Jadi setiap cabang medial dari rami posterior berpartisipasi dalam mempersyarafi tiga sendi.

Cabang lateral (anterior) dari rami utama posterior memberi cabang-cabang kecil menuju otot sacrospinalis dan selanjutnya mempersyarafi struktur cutaneous di area lumbal (Gb.2.36). Di vertebrae lumbal, hanya rami posterior utama dari tiga vertebrae lumbal teratas yang memberikan persyarafan sensoris cutaneous ke area lumbal. Persyarafan cutaneous dapat mempersyarafi kulit hingga ke trochanter major.

Gambar 2.34 Persyarafan tulang belakang lumbal tampak dari (A) Belakang (B) Samping :
1.rami anterior utama; 2. rami posterior utama dengan cabang langsung ke facet; 3. cabang facet yang naik; 4. divisi medial dari rami posterior utama; 5. divisi lateral rami posterior utama; 6. cabang facet menurun; 7-11. cabang langsung dari rami posterior utama (L4-S3) ke sendi sacroiliaca posterior; 12. cabang rekuren dari rami abu-abu ke ligamentum longitudinal anterior; 13. cabang dari rami abu-abu ke diskus; 14. cincin simpahetik

Gambar 2.35 Tampak lateral rami posterior utama yang mempersyarafi sendi facet pada antara dua vertebrae

Gambar 2.36 Potongan melintang yang menggambarkan persyarafan ke bagian anterior (sinuvertebral) dan posterior (posterior ramus) dari tulang belakang lumbal

Nucleus pulposus tidak mengandung persyarafan. Bagian posterior annulus fibrosus akan berbagi akhiran bebas serabut syaraf (serabut syaraf propriocepsi dan serabut nociceptor) dengan jaringan fibrosa yang mengikatnya pada ligamentum longitudinal posterior. Oleh karena itu lesi pada nucleus pulposus akan dapat menyebabkan nyeri dan bila serabut syaraf dekat annulus distimulasi, maka impuls nociceptive akan ditransmisikan ke medulla spinalis untuk sensasi posisi dan lokalisasi nyeri^(1,2,3).

5.4.2 Sendi Sacroiliaca

Sendi sacroiliaca (Gb.5.34A) mendapatkan persyarafannya dari cabang yang berasal dari ramus utama posterior L4, ramus utama posterior L5, dan ramus utama posterior S1. Juga beberapa cabang halus dari S2 dan terkadang S3^(2,3).

5.4.3 Syaraf Vertebra Internal

Struktur didalam canalis spinalis dipersyarafi oleh syaraf meningeal rekuren (sinuvertebralis). Jarang merupakan syaraf tunggal, biasanya terdiri dari dua atau empat filamen syaraf yang berasal dari ramus utama anterior yang terletak di bagian distal dari divisinya. Sebagian besar terbagi menjadi bagian ascenden, descenden dan transversal yang beranastomosis secara bebas dari satu sisi ke sisi yang lain dari satu level ke level yang lain. Beberapa cabang mempersyarafi periosteum vertebrae dan berpenetrasi kedalam corpus bersama-sama dengan pembuluh darah. Cabang lain mempersyarafi dura bagian anterior dan selubung akar syaraf, ligamen longitudinal posterior, serabut annulus fibrosus paling luar dan jaringan lunak yang melingkupinya^(2,3).

2.5 Kandungan Canalis Spinal Lumbal

Canalis spinalis lumbal mengandung, menyokong dan melindungi bagian distal pembesaran corda spinalis bagian lumbal (conus medullaris) di bagian proksimal serta cauda equina dan syaraf spinal di bagian distal. Bagian dari conus medullaris, yang berada dalam daerah vertebrae lumbal, akan berjalan turun keluar dari vertebra L1 bawah dan vertebrae L2 atas menjadi jaringan ikat yang halus, filum terminale, yang akan berjalan menurun dan melekat pada segmen coccygeal pertama. Bagian paling bawah sistem syaraf pusat ini diliputi oleh tiga meninges. Pia mater erat membungkus conus medullaris dan akar syaraf. Dura mater dan pia arachnoid dipisahkan dari pia mater oleh ruang subarachnoid yang diisi oleh cairan cerebrospinalis. Pia arachnoid dan dura mater dipisahkan oleh ruang potensial yang disebut dengan ruang subdural. Dari bagian proksimal vertebrae lumbal, dura mater dan pia arachnoid berjalan terus ke bawah dan bersatu dengan filum terminale pada tepi distal vertebrae S1 atau bagian proksimal S2. Duramater dan pia arachnoid juga melingkupi syaraf spinal pada titik keluarnya.

Saccus dural, kandungan di dalamnya dan syaraf spinal bersifat immobile. Saccus dural dalam canalis spinalis dan akar syaraf dalam spinal dan foramenal canal distabilisasi oleh sejumlah ligamen^(2,3,6).

III. Biomekanik Tulang Belakang

Untuk memahami fungsi vertebral lumbosacral, maka harus diperhatikan hubungan komponen columna vertebral satu dengan yang lainnya. Pada bidang sagital, columna vertebral menampakkan empat buah kurvatura : cervical (konkaf posterior), thoraks (konveks posterior), lumbal (konkaf posterior), dan sakral (terfiksasi dan tidak bergerak). Kurva ini akan berkembang selama evolusi (*phylogeni*) dengan adanya perubahan dari keadaan *quadruped* menjadi *bipedal*. Awalnya tulang belakang berbentuk konkaf ke arah anterior. Vertebrae lumbal awalnya lurus, lalu berinversi. Perubahan yang sama terjadi juga selama *ontogeni* (perkembangan seseorang). Pada hari pertama kehidupan, vertebrae lumbal berbentuk konkaf ke arah anterior. Pada usia 5 bulan, vertebrae lumbal sedikit konkaf ke anterior, dan pada usia 13 bulan bentuk konkaf tersebut menghilang. Dari usia 3 tahun dan seterusnya, lordosis lumbal mulai tampak, menggambarkan keadaan dewasa pada usia 10 tahun (Gb.3.1 dan Gb.3.2)^(1,2,7).

Gambar 3.1 Perkembangan phylogenetik lordosis lumbal (berjalan dengan empat alat gerak hingga posisi berdiri) dibentuk pada perkembangan neonatus menjadi seorang dewasa ontogenik)

Gambar 3.2 Kurva fisiologis dari tulang belakang saat sedang berdiri tegak. Kurva fisiologis dilalui garis pusat gravitasi di anterior sendi paha.

Kurvatura columna vertebralis meningkatkan tahanannya terhadap gaya kompresi aksial sebagai perbandingan terhadap gaya yang diperlukan agar tulang belakang tetap dalam orientasi lurus sempurna.

Keseluruhan tulang belakang dengan tiga kurva fisiologisnya diseimbangkan pada sakrum. Sakrum merupakan bagian pelvis, terdiri dari dua tulang iliaka, pubis dan ischium. Dua sendi sacroiliaca dan symphysis pubis dan tulang yang melekat kepadanya membentuk cincin tertutup yang mentransmisikan secara vertikal gaya dari columna ke ekstremitas bawah. Berat yang disangga oleh L5 didistribusikan secara merata ke dalam sayap pelvis, ischium dan acetabulum di kedua sisi. Tekanan pada punggung dari berat badan melawan dasar bumi ditransmisikan ke acetabulum oleh kepala dan leher femur. Tekanan yang dipaparkan pada kedua tulang pubis akan dilawan oleh symphysis pubis.

Sakrum dan tulang iliaca bergerak sebagai satu unit. Pelvis diseimbangkan pada aksis transversal antara sendi pinggul, yang menyebabkan terjadinya gerakan rotasi pada bidang anterior-posterior. Bagian anterior pelvis dapat berotasi keatas, menurunkan sacrum dengan adanya penurunan sudut lumbosacral. Pergerakan ke bawah dari bagian depan pelvis akan meningkatkan bagian yang ujung belakang pelvis dan sacrum dan meningkatkan sudut lumbosacral. Sudut lumbosacral ditetapkan sebagai sudut yang dibentuk oleh garis yang ditarik secara paralel dengan batas superior sacrum dalam hubungannya dengan garis horizontal (rata-rata 30^0)(Gb.3.3).

Keseimbangan tulang belakang dihubungkan dengan kurva fisiologis resiprokal pada tiga area columna vertebralis. Keseimbangan pada kurva akan menghasilkan postur seseorang. Sudut lumbosacral memegang peranan penting dalam menentukan postur dan derajat kurvatura spinal. Dengan penurunan pada sudut lumbosacral, sudut antara tulang lumbal dan sacrum juga menurun (meluruskan lordosis). Peningkatan pada sudut lumbosacral akan menyebabkan terjadinya peningkatan lumbar lordosis. Perubahan sudut akan menyebabkan perubahan sebagai kompensasi pada kurva thoraks dan cervical untuk mempertahankan kepala diatas pusat gravitasi. Bentuk lumbar lordosis juga dipengaruhi oleh bentuk diskus intervertebralis, ligamen supraspinosus, sendi facet, otot erector posterior, dan traksi fleksor hip pada corpus vertebrae lumbal^(1,2,6).

Gambar 3.3 Sudut lumbosacral yang fisiologis

Postur seseorang dinyatakan baik jika dapat dipertahankan dalam posisi ekstensi untuk rentang waktu tertentu dengan tidak memerlukan banyak usaha, dan tidak menimbulkan kelelahan. Mempertahankan postur normal secara esensial merupakan pengurangan fungsi ligamentum oleh kontraksi otot kecil secara intermiten yang dipicu oleh mekanoreseptor pada sendi dan ligamen. Deviasi kurva spinal statik secara fisiologis akan memicu peningkatan aksi otot secara volunter yang akan menimbulkan kelelahan, ketidaknyamanan dan ketidakmampuan^(1,2,6).

Postur yang baik memerlukan fungsi yang baik pula dari sejumlah struktur vertebrae lumbal, pelvis dan kaki bawah. Posisi pelvis dipertahankan oleh ligamentum dalam keadaan seimbang oleh kapsul sendi pinggul anterior dan ligamen iliopectineal, yang akan mencegah hiperekstensi pinggul. Tensor fascia lata menyokong pelvis dengan membatasi pergeseran ke lateral. Tendensi untuk adanya peningkatan sudut lumbosacral dan peningkatan lumbar lordosis diatasi oleh kontraksi hamstrings, gluteus maximus serta kontraksi otot abdominal (rectus abdominis) yang akan meningkatkan tekanan intraabdominal. Derajat lordosis juga dibatasi oleh ligamen longitudinal anterior yang menjadi menegang oleh karena adanya kurvatura lumbal.

Terkuncinya sendi lutut saat ekstensi pada postur normal akan mengurangi kebutuhan usaha otot. Pada beberapa posisi pergelangan kaki tidak dapat dikunci, sehingga menyebabkan perlu adanya usaha otot gastrocnemius dan soleus secara terus menerus untuk menstabilisasi kaki.

3.1 Kinetik Spine

Sistem stabilitas spinal dipengaruhi oleh tiga subsistem yang bekerja dalam koordinasi, yaitu sub sistem neural, sub sistem aktif dan sub sistem pasif (Gb.3.4)^(1,2,7).

Gambar 3.4 Sistem stabilitas spinal. Stabilitas spinal dipengaruhi oleh tiga sub sistem. Sub sistem neural menginisiasi dan mengkoordinasikan kedua sistem lain melalui komponen motorik dan sensorik. Stabilisasi oleh sub sistem ini terdiri dari komponen columna vertebralis yang pasif, yaitu diskus, ligamen, kapsul sendi sedangkan sub sistem aktif terdiri dari otot-otot columna.

Pada posisi berdiri tegak statik di posisi yang netral, ligamen merupakan sistem yang bersifat sub pasif dan tidak memberikan peranannya dalam stabilitas. Serabut kolagen dari ligamen tetap melingkar dan tidak dibawah suatu tekanan. Hanya pada akhir dari rentang luas gerak sendi maka terjadi gaya reaktif ligamen yang menahan pergerakan tulang belakang. Pada titik ini rentang luas gerak sendi tendon bertindak sebagai transduser (alat yang menghasilkan sinyal) yang menginisiasi aspek motorik dari sub sistem aktif via sub sistem syaraf. Hal ini dapat juga terjadi saat pembebanan minimal diberikan pada keadaan statik. Beban yang dapat disokong oleh sub sistem pasif sebelum adanya penekukan disebut dengan “beban kritis dari columna spinalis”. Pada penelitian *in vitro* beban yang dapat menyebabkan terjadinya penekukan tulang belakang terjadi pada berat 20 N (2kg) di T1 dan 90N (9kg) di L5 yang jumlahnya sama dengan dua hingga tiga kali berat badan (140-210kg). Respon jaringan yang timbul lebih merupakan respon otot terhadap deformasi ligamen daripada sebagai respon terhadap pembebanan. Deformasi ligamen akan memberikan mekanisme *feedback* dalam mempertahankan stabilitas tulang belakang^(1,2,7).

Pada saat tulang belakang berdiri tegak statik secara fisiologis, otot *erector spinae* merupakan subsistem pasif. Otot batang tubuh bekerja hanya untuk menghasilkan tonus dan tulang belakang secara keseluruhan konsisten dengan pusat gravitasi. Berat badan disokong oleh tekanan intradiskal intrinsik dan tonus ligamen. Dengan adanya gerakan fleksi dan rotasi pelvis, keseimbangan ligamen dan sendi hilang sehingga menginisiasi sejumlah faktor neurofisiologis sehingga akan mengaktivasi sistem aktif. Sistem spindle dari otot *erector spinae* menjadi aktif. Serabut ekstrasfasal secara eksentris akan berkontraksi dan secara bertahap memanjang. Pola aksi neuromuskular ini terjadi secara sentral di cortex cerebral. Fascia dengan adanya gerakan fleksi ini akan memanjang secara pasif sesuai dengan sifat elastisitas yang dimilikinya, yang merupakan konfigurasi dari serabut kolagen. Selama fleksi terjadi juga pemanjangan ligamen ekstraspinial, ligamen longitudinal posterior dan serabut annular posterior diskus. Nucleus diskus berubah bentuk dalam batas fisiologis.

Pergerakan setiap segmen dikontrol secara aktif oleh otot-otot dan secara pasif oleh ligamen. Pergerakan terbesar vertebra lumbal tampak pada saat fleksi ke depan dan ekstensi. Pergerakan yang lebih kompleks akan melibatkan kombinasi fleksi ke depan, menekuk ke samping, dan berputar. Pergerakan tulang belakang sendiri sering merupakan gabungan; contoh ketika satu vertebra bergerak relatif terhadap yang lainnya maka akan terjadi rotasi dan translasi pada waktu yang bersamaan.

Pergerakan vertebrae lumbal dilakukan dalam hubungannya dengan komponen-komponen lain tulang belakang dan pelvis. *Lumbar-pelvic rhythm* adalah aktivitas neuromuskuler dasar dalam proses kembalinya secara simultan lumbar lordosis dan perubahan posisi pelvis. Komponen lumbal dari ritme ini menyebabkan tulang belakang lumbosacral berubah dari konkaf, ke lurus ke konfigurasi konvex. Selama perubahan yang progresif, komponen pelvis akan merotasikan pelvis disekitar aksis transversal yang menghubungkan dua sendi pinggul untuk meningkatkan sudut lumbar (Gb.6.5)^(1,2,7).

Gambar 3.5 Lumbar pelvic rhythm pada fleksi dan reekstensi dari vertebra lumbosacral. Ketika batang tubuh fleksi penuh pelvis akan berotasi penuh dan tulang belakang fleksi penuh. Kembali ke posisi tegak pertama-tama memerlukan derotasi pelvis dengan tulang belakang yang tetap fleksi hingga titik tengah (kurang lebih 45^0) lalu pelvis akan secara perlahan mengalami derotasi dan tulang belakang kembali menjadi lordosis.

Pergerakan vertebrae lumbal adalah fleksi, ekstensi, fleksi lateral, dan rotasi. Keluasan pergerakan pada bidang-bidang gerak ini dibatasi oleh ekstensibilitas ligamen longitudinal, permukaan artikuler dan kapsul, cairan dalam diskus, dan kelenturan otot. Ekstensi vertebrae lumbal mempunyai rentang luas gerak 30^0 dan dibatasi oleh ligamen longitudinal anterior. Fleksi ke depan mempunyai rentang luas gerak untuk vertebra lumbal 45^0 , yang terjadi paling besar (75%) di ruang antara L5-S1. Lateral fleksi dibatasi 20^0 hingga 30^0 . Rentang segmental maksimal antarl L3 dan L4 dan minimal antara L5 dan S1. Untuk kolumna lumbal sebagai suatu kesatuan, rentang rotasi dihitung kurang lebih hanya sebesar 10^0 . Rotasi sangat tajam dibatasi oleh orientasi vertikal permukaan artikular sendi facet terhadap vertebrae lumbal. Sendi apophysial facet menahan terjadinya torsi sebesar 45 % (menurut Farfan) dan 10% oleh ligamen inter dan intraspinosus. Struktur capsuloligamentuous posterior serta otot erector spinae juga melindungi jaringan annular diskus pada gerakan rotasi^(1,2,4,7).

Pada fleksi ke depan, sendi lumbal mengadakan fleksi dan otot ekstensor akan menurunkan batang tubuh. Setelah 45^0 fleksi, tegangan ligamen meningkat dan kontraksi otot paraspinal menurun. Bila fleksi berlanjut, pelvis akan berotasi lebih jauh disertai dengan adanya relaksasi hamstring dan otot gluteus. Seiring dengan kembalinya batang tubuh ke posisi tegak, urutan pengaktifan otot terjadi sebaliknya dengan kontraksi awal dari hamstrings, lalu glutei, yang akan merotasikan pelvis untuk fleksi sebesar 45^0 , di titik dimana otot erector spinae menjadi aktif dan mengembalikan batang tubuh ke posisi tegak (Gb.3.6-3.9).

Gambar 3.6 Pola fleksi total dari tulang belakang lumbosacral. Setiap unit fungsional akan mengalami fleksi sebesar 8 hingga 10 derajat, tepatnya 9 derajat untuk setiap level vertebrae lumbal. Karena biasanya terdapat lima vertebrae lumbal, maka fleksi terjadi hingga 45⁰ tanpa adanya rotasi pelvis sekitar sendi pinggul.

Gambar 3.7 Struktur dan fungsi tulang belakang lumbal saat fleksi. Jaringan yang terlibat adalah ligamen supraspinosus (SSL), otot erector spinae (ESM), ligamen longitudinal posterior (PLL), serabut annular posterior (PAF), vertebrae (V), diskus intervertebralis (IVD), sacrum (S), otot gluteal (GM), pelvis (P), caput femoris (FH), otot abdominal oblique (OAM), otot fleksor abdominal (FAM).

Gambar 3.8 Kontrol otot dan ligamen dalam fleksi reekstensi. Lumbar pelvic rhythm dari fleksi-ekstensi digambarkan dengan postur tegak penuh pada 0 derajat. Gambar kanan menampakkan otot dan ligamen yang menjadi longgar. Ketika orang melakukan fleksi hingga 45 derajat, maka fleksi terjadi sebagian besar pada vertebrae lumbal dengan otot berdeselerasi dan pelvis tetap statik. Setelah 45 derajat fleksi, pelvis akan berotasi untuk melanjutkan fleksi batang tubuh sehingga otot menjadi inaktif dan tegangan terjadi pada ligamen dan fascia.

Pergerakan pinggul normal memerlukan kondisi yang baik dari komponen tulang belakang dan otot di sekitarnya, diskus yang intak, sendi facet yang simetris, dan ligamen penyokong dalam keadaan tidak terlalu panjang atau terlalu pendek. Otot paraspinosus dan hip girdle harus sesuai elastisitas, kekuatan, dan fleksibilitasnya serta fungsi sendi pinggul harus dalam kondisi baik demikian pula dengan fungsi kaki bawah. Abnormalitas akan menyebabkan terjadinya disfungsi kinetik dan atau statik^(1,2,6).

Gambar 3.9 Mekanisme nyeri regangan otot hamstring yang tegang dan sindrom nyeri pinggang. (A) Fleksibilitas normal dengan lumbar-pelvic rhythm yang tidak terbatas. (B) Hamstring yang tegang (HS) membatasi rotasi pelvis dan menyebabkan terjadinya peregangan yang berlebihan dari punggung bawah (LB) yang menyebabkan rasa nyeri (P). (C) Punggung bawah yang tegang (LB) menyebabkan tidak lengkapnya lumbar kembali ke posisi semula sehingga menyebabkan terjadinya regangan berlebihan dari hamstrings (HS), menyebabkan rasa nyeri (P) baik dari hamstrings dan punggung bawah serta terganggunya lumbar-pelvic rhythm.

3.2 Biomekanis Dasar

Struktur Tulang Belakang Individual

Unit fungsional dari tulang belakang terbagi menjadi bagian anterior (statik) dan posterior (dinamik). Elemen anterior terdiri dari dua buah corpus vertebrae, satu buah discus, dan ligamen longitudinal anterior dan posterior. Merupakan struktur yang berfungsi untuk menyangga beban (stabilitas), menyerap tekanan, dan merupakan struktur yang fleksibel. Elemen posterior terdiri dari pedicles, sendi facet, ligamentum posterior dan perlekatan otot. Bagian posterior melindungi elemen saraf, bertindak sebagai fulcrum dan mengontrol pergerakan unit fungsional^(1,2,6,7).

Korpus Vertebrae

Merupakan struktur utama penyangga beban tulang belakang. Vertebrae dipenuhi oleh sumsum tulang dan darah, jadi bersifat *shock absorbers* yang diperkuat oleh sistem *hidraulik*^(1,2,7).

Elemen Posterior dan Sendi Facet (Sendi Apophyseal)

Pada vertebrae lumbar dari kadaver, Adams dan Hutton menemukan bahwa fungsi mekanik sendi facet adalah menahan gaya putaran (*shear*) intervertebral dan kompresi. Sendi facet juga mencegah pergerakan berlebihan yang akan merusak diskus dengan cara melindungi annulus posterior pada pergerakan torsi oleh permukaan sendi facet lumbar dan pada fleksi oleh ligamen kapsular sendi facet.

Kurang lebih 25% kompresi aksial ditransmisikan melalui faset. Peranan sendi facet dalam menyokong beban akan dikurangi secara nyata dengan eksisi faset tunggal dan dipengaruhi oleh jenis pergerakan, apakah ekstensi atau fleksi.

Pada vertebrae lumbal, bidang pergerakan sendi facet terletak pada arah vertikal, sehingga dapat dilakukan pergerakan fleksi dan ekstensi tulang belakang secara penuh. Pada posisi lordotik normal, pergerakan fleksi lateral atau rotasi dicegah dengan adalah aposisi permukaan sendi. Pada posisi sedikit fleksi ke depan (berkurangnya lordosis) permukaan facet terpisah, sehingga dapat terjadi pergerakan ke lateral dan rotasi. Dengan ekstensi, permukaan facet akan mencegah setiap pergerakan ke lateral dan oblique sehingga diskus dilindungi dari beban torsional dan kompresif (Gb.3.10)^(1,2,7).

Gambar 3.10 Pergerakan sendi facet pada fleksi dan ekstensi. (A) Pada fleksi, facet terpisah dan foramina lebih terbuka (B) posisi netral tulang belakang dengan lordosis fisiologis dengan facet sedikit terpisah dan foramina (IVF) terbuka. (C) Pada ekstensi, facet berdekatan dan foramina menyempit.

Diskus intervertebralis

Diskus intervertebralis memberikan sifat fleksibilitas tulang belakang. Fungsi penyokongan beban dilakukan oleh diskus dan dua sendi facet, yang secara kolektif membentuk kompleks tiga sendi.

Tekanan positif tampak pada nucleus pulposus saat istirahat dan meningkat saat terdapat pembebanan tulang belakang. Tekanan ini sebesar 1,5 kali tekanan rata-rata yang dipaparkan pada seluruh permukaan vertebrae. Tekanan kompresif pada diskus akan disebarkan secara pasif berputar.

Pada kompresi aksial, peningkatan tekanan intradiskal diatasi dengan adanya tegangan serabut annular dan penonjolan diskus, yang dapat dianalogikan dengan penonjolan dari sisi ban mobil (Gb.3.11). Saat nucleus pulposus menerima serapan tekanan terhadap diskus, annulus fibrosus mempertahankan fleksibilitas unit fungsional. Dengan gaya kompresi, nucleus pulposus akan meregangkan serabut annular. Fleksi atau ekstensi dari unit fungsional menyebabkan terjadinya pergeseran cairan secara horisontal dalam diskus yang menyebabkan ekspansi serabut annular ke

arah posterior dan anterior. Serabut annular cenderung untuk melawan pergerakan nucleus pulposus, sehingga cenderung mempertahankan unit fungsional seperti dalam keadaan istirahatnya.

Gambar 3.11 Diskus bertindak seperti karet ban dalam mendistribusikan beban kompresifnya

Rotasi pada diskus akan dibatasi sesuai dengan orientasinya dimana serabut annular pada arah yang sama dengan pergerakan akan teregang, sedangkan pada sisi yang berlawanan akan memendek (serabut kolagen hanya dapat memanjang sebanyak 4% sebelum mengalami kerusakan). Seiring dengan pertambahan usia, serabut annular digantikan dengan serabut fibrosa dengan sifat yang kurang elastik dengan demikian kemampuan diskus untuk menahan tekananpun menjadi berkurang.

Model matematis menunjukkan bahwa torsi akan menghasilkan pemusatan tekanan pada regio posterior lateral annulus, yang merupakan tempat paling sering terjadinya herniasi diskus. Pembebanan torsional dari segmen spinal dalam laboratorium menghasilkan fisure pada annulus pada lokasi posterolateral disertai dengan keluarnya materi nucleus ke dalam defek.

Diskus vertebrae lumbal dapat menahan beban tekanan kompresif murni sebesar 1000 kg. Tekanan yang besar ini apabila dipaparkan secara progresif akan menimbulkan fraktur endplate vertebrae sebelum menimbulkan herniasi nucleus pulposus. Bagaimanapun juga, pembebanan mekanik tidak akan menghasilkan fraktur berat. Ruptur berat diskus intervertebral lumbal dapat timbul dengan adanya gerakan kombinasi fleksi dan fleksi lateral.

Derajat tekanan pada diskus intervertebralis bervariasi tergantung pada posisi vertebrae lumbal. Nachemson telah mencatat secara *in vivo* tekanan intradiscal dari sukarelawan pada sejumlah posisi, selagi berlatih, dan ketika menggunakan penyangga eksternal (Gb.3.12). Beban diskus lumbal dapat bervariasi dari 25 kg pada posisi telentang hingga lebih dari 250 kg pada posisi duduk dengan fleksi ke depan.

Gambar 3.12 Total beban pada diskus L3 pada orang dengan berat badan 70 kg dalam sejumlah posisi berbeda (Dari Nachemson AL : In vivo discovery in lumbar discs with irregular nucleograms. Acta Orthop Scand 36;426, 1965.)

Ligamen

Ligamen-ligamen merupakan struktur penting untuk stabilitas tulang belakang. Berjalan secara longitudinal di bagian anterior dan posterior unit fungsional, ligamen merupakan elemen utama penahan beban, bergerak secara pasif, struktur elastik yang mencegah pergerakan berlebihan pada setiap arah dan mencegah aksi translasi (*shearing*) yang besar. Walaupun begitu ligamen tidak membatasi pergerakan normal dan elastisitas unit fungsional.

Tegangan ligamen tergantung pada panjangnya karena ligamen merupakan struktur pasif. Ligamen juga merupakan struktur yang bersifat viskoelastik, sehingga perubahan bentuk dan tipe kerusakannya tergantung pada kecepatan beban diberikan terhadapnya. Kekuatannya juga tergantung pada jumlah perubahan bentuk serabut kolagen. Pembebanan yang berulang dapat menyebabkan kelelahan dan kerusakan. Struktur lain yang penting secara fungsional adalah ligamentum flavum. Ligamen ini bersifat elastik dan kuat dibandingkan dengan ligamen lain serta mengandung serabut elastik yang banyak sehingga dapat memanjang saat fleksi tulang belakang dan memendek saat ekstensi. Pada pasien dengan degenerasi yang berat, ligamen ini akan menebal dan tidak elastik, menyebabkan menyempitnya *canalis spinalis*, terutama saat ekstensi, ligamen menekuk ke dalam *canalis vertebralis*. Struktur capsular sekitar sendi facet merupakan struktur ligamen yang paling kuat menyangga tulang belakang.

Patologi penting pada kondisi klinis adalah adanya penyempitan ligamen longitudinal posterior hingga setengah kali lebar asalnya pada ruang antara di area lumbosacral. Ruang antara L5-S1 mengalami tekanan statis terbesar secara umum dan merupakan tempat terjadinya pergerakan terbesar dari *vertebrae lumbal*, sedangkan segmen ini juga mempunyai penyangga ligamen posterior yang paling sedikit.

Otot

Tanpa sokongan otot, tulang belakang tidaklah stabil. Banyak penelitian telah ditunjukkan untuk mengevaluasi kontraksi isometrik dan konsentrik otot-otot punggung belakang, tetapi hanya beberapa yang mendokumentasikan tentang kontraksi eksentrik. Kontraksi eksentrik dari otot ekstensor spinae terutama dilakukan pada saat melakukan fleksi ke samping dan mengawali kegiatan mengangkat^(1,3,8).

Otot akan memposisikan tulang belakang dan menstabilisasi selama posisi berdiri, dan memberikan kekuatan yang penting untuk mengangkat dan membawa suatu objek. Gregersen dan Lucas menunjukkan bahwa pada tulang belakang yang diangkat dengan ligamentum yang tetap intak, tetapi tanpa otot, akan menekuk dibawah gaya kompresif yang sangat kecil (40N).

3.2.2 Struktur Penyokong Lain

Rongga abdomen dan thoraks menjadi bertekanan tinggi pada aktivitas yang penuh tekanan. Tekanan rongga abdomen dapat meningkat dengan adanya kontraksi otot dinding abdominal dan diaphragma. Penutupan glottis (seperti pada Valsava maneuver) akan menghasilkan tekanan yang lebih tinggi. Peningkatan ini akan cenderung mendorong dinding pelvis (dasar rongga abdomen) dan diaphragma (atap dari rongga abdomen) (Gb.3.13). Aksi ini menyokong tulang belakang dengan mekanisme seperti hidraulik, sehingga akan mengurangi gaya kontraksi yang diperlukan otot ekstensor untuk menyokong pergerakan fleksi. Gaya penyeimbang ini akan secara potensial mengurangi aktivitas beban kompresif diskus. Hal ini masih bersifat kontroversial, karena otot abdominal harus berkontraksi pada gerakan fleksi untuk menghasilkan tekanan intra abdominal.

Mekanisme lainnya adalah aksi tekanan abdominal melalui fascia lumbodorsal. Farfan menyatakan bahwa fascia ini dapat memendekkan ligamentum dorsalis dengan adanya gaya ke arah lateral dari otot oblique, yang akan cenderung mengekstensikan tulang belakang. Farfan mempostulasikan bahwa mekanisme ini akan menimbulkan tekanan intra abdominal dan menyebabkan timbulnya pergerakan ekstensi sekitar tulang belakang sehingga akan membantu menyeimbangkan pergerakan fleksi (Gb.3.14).

Konsep sokongan spinal oleh abdomen ini telah membawa pemikiran tentang perlunya latihan fleksi, penggunaan korset dan proteksi tulang belakang dengan ikat pinggang pada atlit angkat berat. Hubungan seperti ini tidak tampak dalam mekanisme yang berbeda dari normal yaitu seperti pada saat tulang belakang diletakkan dalam posisi fleksi atau terpuntir. Pada posisi ini peningkatan tekanan intra abdominal tidak menurunkan aktivitas otot-otot dorsal, sehingga dapat diperkirakan pembebanan total aksial diskus juga tidak dikurangi. Konsekuensinya, tekanan abdominal perdetik tampaknya tidak mempunyai efek langsung yang menguntungkan^(1,7).

Gambar 3.13 Sokongan dari rongga abdomen dan thoraks pada tulang belakang. Tekanan internal akan dihasilkan dalam rongga thoraks dan abdomen selama aksi mengangkat, mengurangi tekanan intradiskus dalam diskus intervertebralis.

Gambar 3.14 Tekanan intrakompartemental dalam lapisan fascia otot punggung. Fascia berjalan dari latissimus dorsi (LD) dan otot abdominal transversus (ABTM) dan abdominal oblique (ABOM) bersatu pada raphe (R). Lapisannya terus berlanjut ke dalam tiga lapisan lagi (dalam [D], tengah [M], dan superfisial [S]) melingkupi otot quadratus lumborum (QL) dan erector spinae (ESM). Ketika otot berkontraksi, fascia akan mengalami tekanan dan menghasilkan tekanan internal dalam kompartemen (panah kecil). SC=canalis spinalis.

3.2.3 Pembebanan Spinal

Pembebanan eksternal menyebabkan terjadinya perubahan struktur spinal dan pergerakan struktur spinal. Gaya yang cukup besar diberikan pada tulang belakang pada saat pembebanan. Cedera tulang belakang dipengaruhi oleh tipe dan besar gaya yang dipaparkan pada tulang belakang, maka penting untuk memahami tentang gaya, perubahan bentuk dan kerusakan jaringan yang akan dihasilkan oleh karenanya.

Gaya ke bawah (kompresi) tegak lurus terhadap permukaan bagian atas vertebra dari segmen pergerakan akan menekan diskus dan menyebabkannya menonjol. Ketika beban penekanan tersebut meningkat, tekanan dalam diskus juga ikut meningkat. Pada laboratorium, pemberian tekanan kompresif akan menyebabkan kerusakan permukaan vertebral, terutama pada pusatnya. Tipe kerusakan ini dimodifikasi bila tulang belakang dibebani pada posisi fleksi atau ekstensi. Fleksi akan cenderung menyebabkan kolapsnya end plate anterior, struktur tulang vertebrae yang terlemah.

Tipe kedua pembebanan adalah tegangan. Tegangan cenderung untuk menarik struktur menjauh dan area potong lintang dari struktur tersebut akan mengecil. Pada tulang belakang, ligamen dibebani oleh tegangan ini. Sebagai contoh, saat ekstensi, ligamen anterior diregangkan, saat fleksi ligamen posterior diregangkan. Regangan berlebihan pada setiap ligamen akan menyebabkan terjadinya ruptur serabut ligamen atau seluruh ligamen. Kerusakan ini dinamakan *sprains*. Diskus juga dapat dibebani dengan jenis pembebanan ini. Fleksi, sebagai contohnya, akan menyebabkan kompresi diskus anterior dan tegangan diskus posterior.

Pergerakan memutar tulang belakang juga akan menghasilkan *strain* jaringan. Pada laboratorium, pemberian gaya yang memutar, akan menyebabkan fragmentasi diskus. Pergerakan memutar juga akan menyebabkan pembebanan besar pada diskus dan gaya otot yang besar.

Pembebanan dengan cara berputar (*shear*) akan menyebabkan terjadinya translasi struktur-struktur. Sebagai contoh pada saat tulang belakang fleksi, terdapat kecenderungan adanya pergeseran relatif vertebrae ke depan terhadap vertebra yang dibawahnya. Gaya seperti ini normalnya terjadi pada vertebrae lumbal karena adanya kurva lordotik, terutama pada sendi lumbosacral dimana permukaannya melandai ke anterior^(1,7).

3.3 Biomekanik Okupasional

3.3.1 Biomekanik Postur

Postur dapat bersifat dinamik dan statik. Postur statik (berdiri, duduk, dan lain sebagainya) merupakan postur yang mudah dipelajari. Secara relatif lebih mudah untuk memberikan pegangan untuk postur statik tapi sangat sulit untuk memberikan suatu pegangan untuk postur dinamik (posisi tubuh selama pergerakan) karena postur ini melibatkan banyak bentuk berbeda, akan tetapi banyak pegangan untuk postur statik yang secara efektif dapat diaplikasikan untuk postur dinamik.

Postur yang benar adalah penting karena : (1) membantu fungsi sistem organ (2) mengurangi ketegangan otot, ligamen dan tendon (3) meningkatkan penampilan seseorang. Lebih lanjut, postur dapat mempengaruhi konsep diri seseorang sehingga akan menimbulkan implikasi psikologis.

Ketepatan postur dapat didasarkan pada pertimbangan fisiologis, anatomis dan estetis⁽⁸⁾.

3.3.2 Ketepatan Fisiologis

Postur yang tepat secara fisiologis adalah ketika sistem organik dapat berfungsi efisien. Postur yang membatasi sirkulasi, respirasi, pencernaan yang adekuat tidaklah tepat, sebagai contoh, suatu posisi berdiri kaku akan menghambat sirkulasi.

3.3.3 Ketepatan Anatomis

Postur yang dikatakan tepat secara anatomis adalah ketika tubuh mempunyai keseimbangan dan susunan yang baik, dan menghasilkan ketegangan otot yang minimum. Pada posisi seperti ini struktur skeletal akan membawa berat maksimum, sehingga postur ini memerlukan usaha otot yang minimum. Dari sudut pandang anatomi, postur terbaik adalah posisi dimana struktur tubuh tersusun secara vertikal dan otot-otot serelaks mungkin.

3.3.4 Ketepatan Estetik

Postur tepat berdasarkan estetik adalah ketika postur tersebut menimbulkan daya tarik pada seseorang (berhubungan dengan penampilan). Postur yang dikatakan tepat secara estetik cenderung secara anatomis dan fisiologis juga tepat. Pada saat tertentu, sudut pandang estetik ini cenderung mendorong pasien menjadi kaku dan sangat memperhitungkan ketepatan pergerakan.

Berdiri dan duduk merupakan dua postur kerja dasar. Keuntungan utama berdiri adalah adanya mobilitas, kemudahan penggapaian, tetapi menggunakan banyak gaya, sementara duduk adalah posisi yang kurang menyebabkan tekanan pada kaki, memerlukan energi yang lebih sedikit, sirkulasi darah ke kaki lebih sedikit dan lebih stabil untuk pekerjaan yang memerlukan ketepatan^(6,7).

Postur Berdiri

Aktivitas otot diperlukan untuk mempertahankan postur berdiri tegak, tetapi sepanjang bagian tubuh dalam posisi yang baik dihubungkan dengan pusat gravitasi, maka kebutuhan untuk itu berjumlah kecil. Setiap pergeseran pusat gravitasi atau batang tubuh, memerlukan aksi untuk mengimbangi gaya otot sehingga dapat dipertahankannya keseimbangan. Gaya yang dihasilkan otot juga diperlukan untuk menyeimbangkan usaha yang disebabkan oleh karena regangan berlebihan dari tangan, beban eksternal atau gaya lain yang melibatkan batang tubuh, kepala dan ekstremitas atas. Kombinasi efek seluruh gaya ini merupakan suatu momen gaya yang bekerja pada tulang belakang lumbal yang harus diseimbangkan oleh otot-otot batang tubuh untuk mempertahankan keseimbangan. Momen ini diilustrasikan oleh gambar 3.15. Situasinya akan semakin kompleks pada keadaan asimetri. Pada saat rotasi dan miring ke satu sisi, aktivitas berlevel tinggi terjadi kontralateral dari arah momen gaya, sementara aktivitas dari sisi ipsilateral kecil. Asimetri ini mendorong adanya perbedaan konsentrasi tekanan pada struktur/komponen yang berbeda pada tulang belakang.

Gambar 3.15 Momen gaya yang bekerja pada tulang belakang lumbal ketika berdiri tegak dan fleksi ke depan yang terjadi pada berat badan diatas tulang belakang pada jarak A, dan berat dari pembebanan eksternal yang bekerja pada jarak B. Ketika menekuk A dan B keduanya meningkat dan meningkatkan momen gaya.(Dari Andersson.)

Postur Duduk

Informasi biomekanik tulang belakang saat duduk berasal dari penelitian radiografi, penelitian myoelektrik otot (EMG), dan pengukuran tekanan diskus. Penelitian radiografi menunjukkan bahwa pelvis akan berotasi kebelakang dan lumbal akan mendatar ketika duduk. Andersson, dkk, mempelajari pengaruh tipe yang berbeda dari sandaran punggung pada rotasi pelvis dan sudut lordosis lumbal. Perubahan rotasi pelvis dipengaruhi oleh bentuk tulang lumbal karena adanya perubahan sudut lumbosacral. Harus terdapat kompensasi untuk perubahan ini untuk mempertahankan batang tubuh tetap tegak. Tingkat rotasi pelvis dan sudut lordosis dapat secara signifikan dipengaruhi oleh penggunaan sandaran punggung dan penyangga lumbal.

Tekanan *in vivo* yang diukur dalam diskus lumbal ketika duduk tanpa penyangga menunjukkan 35% lebih tinggi daripada yang diukur ketika berdiri (Gb.3.12). Untuk meneliti pengaruh penyangga, tekanan diskus juga diukur saat duduk pada kursi yang berbeda dengan penyangga punggung yang berbeda. Alasan hal tersebut adalah (1) peningkatan momen gaya batang tubuh ketika pelvis dirotasikan ke belakang serta tulang lumbal dan batang tubuh dirotasikan ke depan (2) perubahan bentuk dari diskus itu sendiri disebabkan oleh karena pendataran dari tulang lumbal.

Ketika punggung disangga, tekanan diskus dipengaruhi oleh beberapa faktor. Inklinasi sandaran punggung ke arah belakang dari vertikal menyebabkan penurunan tekanan diskus. Peningkatan sanggaan pada tulang lumbal akan menyebabkan juga penurunan tekanan diskus (Gb.3.16). Penggunaan dari penyangga tangan selalu menghasilkan penurunan tekanan diskus, tetapi penurunan ini lebih kecil bila dibandingkan dengan penurunan yang diakibatkan sudut besar sandaran punggung.

Gambar 3.16 Ketika dipergunakan sandaran punggung, beban dari tulang belakang yang didapatkan dari pengukuran tekanan diskus akan menurun. Penurunan ini lebih besar bila sandaran punggung dimiringkan ke belakang. Ketika ditambahkan penyangga lumbal, maka kurva akan bergeser ke tingkat yang lebih rendah (Dari Andersson).

Pengukuran tekanan diskus dapat diinterpretasikan sebagai berikut : (1) ketika sandaran punggung dipergunakan, sebagian dari berat badan akan ditransfer kepadanya saat seseorang bersandar ke belakang, mengurangi beban pada tulang belakang lumbal karena berat dari bagian tubuh atas; (2) peningkatan pada inklinasi sandaran punggung (bersandar pada sandaran punggung) berarti meningkatkan transfer beban kepada sandaran punggung dan akan menghasilkan pengurangan beban pada lumbal; (3) penggunaan dari sandaran tangga akan menyangga berat tangan, mengurangi tekanan diskus; dan (4) penggunaan dari penyangga lumbal merubah postur dari lumbal menjadi lordosis sehingga akan mengurangi perubahan bentuk tulang belakang lumbal.

EMG juga telah dipergunakan untuk mempelajari aktivisasi otot-otot batang tubuh ketika duduk. Secara umum, aktivitas dengan derajat yang sama telah direkam saat berdiri dan duduk tanpa penyangga punggung. Diluar berbedanya parameter penyangga duduk, inklinasi penyangga punggung juga sangat penting, dengan tingkat EMG yang menurun saat sudut penyangga tempat duduk bertambah. Hosea, dkk. Merekam aktivitas mioelektrik pada beberapa otot punggung sementara subjek mengemudi selama 3,5 jam. Aktivitas mioelektrik menurun di semua area tulang belakang saat inklinasi sandaran punggung meningkat. Penyangga lumbal setinggi 3 dan 5 cm tidak secara signifikan mempengaruhi tingkat aktivitas, tetapi pada 7 cm terjadi peningkatan aktivitas mioelektrik dari otot erektor spinae lumbal. Aktivitas mioelektrik yang terendah dicatat pada sudut inklinasi 120^0 dan penyangga lumbal setinggi 5 cm.

Postur Berbaring

Sebagian besar posisi setiap hari adalah posisi berbaring. Terdapat banyak pendapat tentang posisi tidur yang optimal dan tempat tidur, tetapi hanya sedikit data yang menyokongnya. Penekanan telah dilakukan tentang pentingnya berbaring terlentang pada alas yang permukannya relatif padat, jadi memberikan sanggaan secara keseluruhan pada tulang belakang dengan menghindari tekanan fokal berlebihan pada tonjolan tulang. Fleksi lutut dan pinggul dapat menurunkan tekanan tulang belakang oleh karena adanya relaksasi otot-otot. Pasien dengan kondisi nyeri tulang belakang akut dan kronis sering menyatakan bahwa posisi tersebut dapat memberikan kenyamanan yang maksimal (posisi Semi-Fowler). Pada keadaan spinal stenosis berat dan *claudicatio spinal* pasien akan menemukan kenyamanan pada posisi ini, karena dimensi canal paling besar. Pada posisi ini lordosis lumbal dikurangi, yang secara teoritis akan menurunkan tekanan pada sendi faset. Ada beberapa pasien merasa lebih nyaman pada posisi telungkup, sehingga suatu observasi telah ditekankan dengan adanya program latihan ekstensi untuk menghilangkan beberapa kondisi nyeri pinggang^(2,6).

Hubungan Postur dengan Faktor Lain

Karakteristik postur seseorang dapat diturunkan atau didapat, dan dapat juga berhubungan dan berasal dari kualitas kepribadian. Orang tua dengan lengkungan spinal yang berlebihan akan menghasilkan anak dengan lengkung spinal yang juga berlebihan, sementara orang tua dengan bahu bulat dan lehernya miring ke depan akan cenderung mempunyai anak yang berinklinasi serupa.

Gizi akan mempengaruhi struktur tubuh, seseorang dengan gizi buruk tidak mempunyai energi dan ketahanan otot serta tonus yang cukup untuk mempertahankan tubuh dalam aktivitas sehari-harinya dalam posisi tepat. Gizi yang tidak baik dapat menyebabkan timbulnya postur buruk, terutama pada tahun-tahun pertumbuhan saat secara konsisten posisi tubuh temporer yang buruk akan menjadi bagian dari postur sehari-hari secara bertahap.

Tinggi seseorang dapat mempengaruhi postur. Orang yang bertubuh pendek cenderung akan menambah tingginya dengan berdiri lebih tegak, dan orang yang bertubuh sangat tinggi cenderung untuk mengurangi tinggi badannya dengan menurunkan sendi-sendinya dan membungkukkan punggung bagian atas dan lehernya. Orang-orang ini akan mencoba untuk tampak mendekati tinggi yang sedang.

Latihan dapat secara signifikan memberikan efek pada postur seseorang. Menari, gymnastik, menyelam akan memberikan kontribusi untuk membuat postur yang tegak dan sedikit rigid serta ketepatan pergerakan tubuh. Pelari jarak jauh dan perenang akan memberikan postur tubuh yang relaks. Aktivitas-aktivitas lain mempunyai efek spesifik terhadap postur, walaupun banyak aktivitas bersifat netral dalam perkembangan postural.

Kondisi kerja juga memberikan efek pada postur. Sebagai contoh, belajar yang berlebihan pada meja akan cenderung memberikan efek bahu yang membulat dan kepala miring ke depan. Hal yang sama dapat timbul pada pekerjaan yang memerlukan ketepatan tinggi yang memerlukan koordinasi tangan dan mata serta pergerakan halus dari otot, seperti pekerjaan seorang tukang perhiasan.

Postur mempunyai implikasi kuat pada faktor psikologis. Postur dapat memberikan gambaran tentang kepribadian seseorang. Sebagai contoh, orang yang pemalu dan menarik diri sering menampilkan tipe postur yang menarik diri, seperti

jika mereka berusaha untuk menyembunyikan diri. Tipe kepribadian yang berlawanan (sangat agresif) sering menampakkan postur yang sangat tegak dan ramah⁽⁶⁾.

Pegangan Untuk Postur Yang Tepat

1. Segmen yang menyokong berat badan haruslah tersusun secara tepat, sehingga garis gaya gravitasi berjalan melaluinya. Hal ini akan mengurangi ketegangan otot yang tidak perlu dan menimbulkan perbaikan penampilan.
2. Ekstensi sendi penyokong berat badan haruslah dalam suatu ekstensi yang mudah tidak disertai dengan strain, ketegangan atau rigiditas yang berlebihan.
3. Kaki sebaiknya diletakkan cukup jauh satu dengan yang lainnya untuk membentuk dasar penyokong dimana tubuh dapat secara mudah menyeimbangkan diri tanpa menggunakan otot yang berlebihan.
4. Dengan memperhatikan rotasi kaki ke dalam dan ke luar, posisi yang tepat dari patellae dan kaki haruslah lurus ke depan.
5. Kemiringan pelvis ke depan yang berlebihan sebaiknya dihindari karena akan menyebabkan penonjolan perut dan punggung yang melengkung, sehingga dapat mendorong terjadinya masalah di punggung.
6. Columna spinalis, ketika tampak dari lateral, secara alami akan menampilkan tiga kurva, kurva konveks cervical, kurva konkaf thorakal, dan kurva konveks lumbal. Usaha untuk menghilangkan kurva ini tidak diharapkan, tetapi penting untuk tidak membiarkan kurva ini menjadi berlebihan. Ketika tampak dari belakang, columna spinalis haruslah lurus.
7. Dinding abdomen, yang sebagian besar terdiri dari jaringan otot harus dipertahankan dalam tonus yang baik, dan perhatian harus diberikan untuk mempertahankan dinding perut tetap lurus dan dalam sokongan yang tepat dari organ internal.
8. Banyak orang mempunyai tendensi untuk mengabdusikan gelang bahu. Posisi ini sebaiknya tidak menjadi bagian dari postur yang menjadi kebiasaan karena kondisi seperti ini sering dikenal sebagai dada cekung dan sering menyebabkan bahu yang membulat.
9. Postur berdiri yang baik, leher harus dipertahankan lurus, tetapi tidak kaku, dan kepala harus sejajar dengan columna spinalis sehingga otot leher tidak dibawah tekanan yang tidak perlu.

Biomekanik Penanganan Materi Secara Manual

Berlawanan dengan pendapat umum, penanganan suatu materi secara manual tidak dapat digantikan oleh otomatisasi pada industri modern. Beban yang berat tetap diangkat oleh orang pada saat bekerja dan saat waktu luang mereka. Salah satu bagian tubuh yang paling sering mengalami pembebanan selama proses mengangkat ini adalah punggung bagian bawah, terutama segmen lumbal bawah dari tulang belakang dan otot serta ligamen yang berhubungan dengannya. Pembebanan ini dapat dihitung dengan model biomekanik (Gb.3.17)⁽⁷⁾.

Gambar 3.17 Model biomekanik dari tulang belakang yang menggambarkan momen gaya (M) dan gaya (F) yang bekerja pada batang tubuh, dan perhitungan gaya internal yang diperlukan untuk keseimbangan. Gambar ini mengilustrasikan bagian tubuh atas sebagai tubuh yang bebas. Gaya dan momen gaya yang ditimbulkan oleh beban eksternal (L) dan segmen tubuh (W_n = kepala; W_t = batang tubuh; W_{ra} = tangan kanan ; W_{la} = tangan kiri yang bekerja pada tubuh yang bebas. (Dari Andersson.)

Sering dinyatakan bahwa pengangkatan dengan kaki lurus dan punggung membungkuk lebih akan membebani punggung bawah daripada mengangkat dengan punggung yang hampir vertikal, mempergunakan kaki untuk aksi utama pengangkatan. Sayangnya aturan ini walaupun cukup valid, tidak dipergunakan secara umum. Observasi pada orang-orang yang mengangkat beban menunjukkan bahwa orang yang telah berulang kali diperintahkan untuk mengangkat dengan aturan ini tidak mengikuti instruksinya; mereka lebih sering membungkukkan punggungnya dan mengangkat beban dan mempergunakan sedikit fleksi lutut.

Singkatnya, tampak bahwa orang lebih sering mengangkat beban dengan punggungnya daripada dengan kakinya. Dengan demikian mereka akan meminimalisir energi yang diperlukan untuk menggerakkan kombinasi massa tubuh dan beban. Walaupun secara umum dipercayai bahwa “*back lifting*” lebih membebani daripada “*leg lifting*” hal ini tidak terjadi pada pengangkatan beban lebih besar yang dapat dibawa diantara lutut atau beban yang terletak jauh pada garis horizontal kaki. Pengukuran tekanan diskus menunjukkan bahwa tekanan saat “*back lift*” dan “*leg lift*” sama saat dibandingkan, momen gaya di tangan terhadap beban itu juga dipertahankan konstan.

Postur punggung yang membungkuk dan merendah saat mengangkat suatu beban berat akan mengurangi pembebanan kompresif dari diskus L5-S1 dibawah yang diperkirakan bila pengangkatan dilakukan dengan punggung yang lebih tegak. Alasan bahwa kompresi yang lebih besar saat mengangkat dengan punggung mendekati vertikal dibawah kondisi tersebut adalah : (1) momen beban di tangan ditingkatkan, dan (2) komponen vertikal berat badan dan gaya tangan ditambahkan lebih langsung terhadap gaya kompresif pada tulang belakang yang lebih vertikal. Tentu saja, gaya tarikan lebih besar saat mengangkat dengan punggung fleksi. Juga, kapsul artikular facet dan ligamen posterior dapat terlalu diregangkan pada posisi fleksi.

Jika seseorang dapat mempertahankan batang tubuh dalam posisi tegak sementara ia mengangkat beban, maka gaya kompresif akan dikurangi pada diskus lumbal. Karena keterbatasan kekuatan bahu dan pencapaian dari tangan, secara normal diperlukan objek kecil yang dipegang dekat tubuh. Prinsip utama yang paling penting saat mengangkat beban adalah memperkecil jarak beban dari tulang lumbal. Beban yang berat dipegang dekat tubuh akan lebih mengurangi resiko cedera punggung daripada saat seseorang mengangkatnya jauh dari tubuh.

Pembebanan Berulang

Kelelahan jaringan merupakan faktor utama dalam menentukan efek pembebanan berulang atau vibrasi tulang belakang. Kelelahan, yang didefinisikan sebagai hilangnya kekuatan karena tekanan intermiten sepanjang waktu, dapat menyebabkan kerusakan material. Hal ini terjadi dengan tekanan yang relatif kecil dibandingkan dengan yang diperlukan untuk kerusakan pada tekanan yang statik. Kelelahan materi ini (jumlah siklus pembebanan yang dapat diatasi) tergantung pada beban yang mempengaruhinya. Pada jaringan hidup, proses perbaikan akan mengkompensasikan kerusakan kecil. Kerusakan hanya terjadi ketika proses perbaikan tidak dapat mengkompensasikannya.

Penelitian mekanis untuk menentukan frekuensi resonan dari operator manusia yang duduk terhadap vibrasi vertikal telah dirangkum oleh Pope dkk. Secara umum, frekuensi resonansi yang terjadi adalah antara 4-6 Hz ketika bagian punggung atas bervibrasi vertikal dengan melihat hubungannya dengan pelvis, dan antara 10-14 Hz saat terjadi vibrasi penekukan pada bagian punggung atas dalam hubungannya dengan pelvis.

IV. Cedera Pinggang

4.1 Cedera Pada Vertebrae Lumbal

Penyebab utama cedera punggung yang paling sering terjadi adalah :

- (1) postur yang tidak baik (gb.4.1-gb.4.4)
- (2) mekanika tubuh yang salah (gb.4.5-gb.4.6)
- (3) kehidupan yang penuh tekanan dan kondisi pekerjaan (gb.4.7)
- (4) hilangnya kekuatan dan fleksibilitas
- (5) penurunan menyeluruh kebugaran fisik.
- (6) cedera oleh karena terjatuh, strain rotasional dan kompresi lebih jarang terjadi.

4.2 Aspek Psikologis dalam Nyeri Pinggang

Nyeri pinggang digambarkan sebagai suatu keadaan yang mempengaruhi neuro-muskulo-skeletal-psikologikal. Mekanisme ini mungkin terjadi oleh karena adanya aktivitas motor unit secara psikogenik sehingga terjadi kontraksi otot berkepanjangan yang dapat mendorong terjadinya cedera otot (gb.4.8- 4.10)

Gambar 4.1 Postur salah dalam aktivitas normal. Postur salah dalam aktivitas sehari-hari dapat menyebabkan terjadinya *strain* neuromuscular punggung bawah. (A) Seperti pada keadaan menyetrika lama dengan meja yang terlalu rendah, terlalu tinggi, kaki dipertahankan tegak (B) Cara yang baik untuk mengangkat objek kecil dari lantai, menyapu, mengepel . Setiap kegiatan haruslah dilakukan dengan konsentrasi yang baik.

Gambar 4.2 Aktivitas pekerjaan yang salah. Postur duduk lama yang salah. Duduk dalam waktu yang lama dengan postur duduk yang salah dapat sebabkan low back pain. Tipe kursi, tinggi kursi, jarak dari peralatan yang dipergunakan, dan jarak kaki dari lantai dapat mendorong terjadinya nyeri pinggang

Gambar 4.3 Postur duduk yang ideal. Kursi harus cukup tinggi agar paha horisontal dan kaki pada permukaan yang datar. Sedikit lordosis merupakan hal yang fisiologis

Gambar 4.4 Posisi berdiri yang benar untuk menghindari stress.

Gambar 4.5 Analisis dari teknik mengangkat yang baik. Dengan pusat gravitasi (CG) menjadi dasar teknik ini, objek diangkat (W) harus dekat dengan tubuh (Dx), lutut ditekuk, dan pelvis miring oleh otot gluteal (G). Tulang belakang dianjurkan pada posisi 45° dari pusat gravitasi.

Gambar 4.6 Cara mengangkat yang baik dengan lutut fleksi. Gambar atas kiri menunjukkan pengangkatan objek di lantai yang terletak jauh dari pusat gravitasi dengan lutut lurus sehingga terjadi pengangkatan secara eksklusif hanya oleh punggung bawah yang akan menyebabkan terjadinya strain. Gambar atas kanan mengilustrasikan bagaimana punggung bawah terlalu cepat berekstensi menyebabkan otot-otot erektor melakukan sebagian besar aksi pengangkatan. dan cara mengangkat secara benar. Gambar bawah menggambarkan seseorang yang menekuk lututnya dan secara perlahan kembali ke posisi berdiri tegak. Objek terletak lurus di depan, lutut fleksi, objek didekatkan pada tubuh, lalu (1) merotasikan kembali pelvis (2) mengekstensikan kembali punggung bawah (3) berdiri dengan postur tegak kembali. Paling penting adalah adanya pemusatan perhatian pada tugas yang dilaksanakan sehingga akan terjadi otomatisasi bila dilatih secara terus menerus. Pengangkatan terutama dilakukan oleh kaki hingga 50% ekstensi telah tercapai.

Gambar 4.7 Situasi dimana ruang untuk berdiri sempit, lantai yang licin, objek yang akan dimanipulasi terlalu jauh.

Gambar 4.8 Susunan facet pada fleksi dan rotasi. Ilustrasi ini menggambarkan arah facet terhadap pergerakan lumbosacral. Ketika terdapat rasa marah, cemas atau lelah maka seseorang akan membungkuk ke depan dan ke samping serta kembali ke postur berdiri tegak dengan ekstensi-derotasi yang tidak tepat. Pergeseran facet akan mengakibatkan nyeri dan gangguan.(impairment)

Gambar 4.9 Penilaian yang tepat dari usaha yang diperlukan dalam suatu pekerjaan. Pada setiap usaha fisik, pikiran harus dipusatkan pada tugas tersebut untuk menentukan berat, jarak dan kecepatan usaha. Penilaian yang inadkuat tentang tugas tersebut, akan menyebabkan terjadinya usaha yang tidak tepat pergerakan yang berlebihan dan jaringan dapat cedera.

Gambar 4.10 (A) Bersin yang tiba-tiba. Bersin yang tiba-tiba dapat sebabakan strain neuromuscular dari tulang belakang lumbosacral yang tidak dipersiapkan sebelumnya. (B) Hal ini dapat juga terjadi pada aktivitas neuromuskuler yang sebelumnya tidak direncanakan, seperti terjatuh, tergelincir. Tubuh yang tidak siap akan bereaksi dengan cara adanya reaksi inflamasi dari jaringan.

4.3 Dasar Mekanika Tubuh^(9,10)

❖ Berdiri (Gb.4.11)

Satu kaki ke depan, lutut sedikit menekuk, satu kaki ke atas untuk merubah posisi. Sokong punggung dengan pelvic tilt ringan melawan dinding bila ada.

Gambar 4.11

❖ Berdiri di depan meja atau meja Gambar (Gb.4.12)

Satu kaki ke depan dan sedikit naik ke atas dengan lutut sedikit menekuk. Sangat baik bila perubahan posisi dilakukan secara sering. Ketika bekerja untuk waktu yang lama, maka lebih baik bila berdiri menghadap meja atau papan gambar daripada duduk.

Gambar 4.12

- ❖ Bergerak Untuk Duduk (Gb.4.13)
Fleksikan pinggul dan lutut, hindari menekuk pinggang. Turunkan badan ke kursi. Duduk di ujung depan kursi. Berpegangan pada bagian belakang tempat duduk dengan tangan dan tarik badan ke belakang. Untuk berdiri lakukan gerakan yang berlawanan.

Gambar 4.13

- ❖ Duduk (Gb.4.14)
Duduk dengan tubuh membentuk kurva yang sedikit lordotik ke dalam pada punggung bawah, kedua kuping diatas bahu dan dagu sedikit ke dalam. Bila tidak ada sandaran kaki pertahankan lutut lebih tinggi atau sama dengan pinggang dengan mempergunakan alas kaki.
- ❖ Duduk di depan komputer (Gb.4.15)
Duduk dengan punggung bawah disokong. Dekatkan kursi dengan pekerjaan sehingga anda dapat duduk dengan tegak. Waspadaai postur selagi bekerja di depan komputer, meja, dll. Pertahankan bahu tegak dan dagu sedikit ke dalam. Berdiri dan lakukan peregangan setiap 20 hingga 30 menit.
- ❖ Menggosok gigi, Mencuci muka, dll (Gb. 4.16)
Buka pintu lemari kabinet dan letakkan satu kaki di undakan yang rendah atau pada kursi yang pendek.
- ❖ Mendorong dan Menarik Kotak (Gb.4.17)
Dorong objek. Hindari menarik.
- ❖ Mengangkat (Gb.4.18)
Untuk objek yang ringan gunakan cara berjongkok secara parsial. Tahan beban dekat tubuh.
- ❖ Tiga cara berbeda untuk mengangkat barang dari lantai
The Diagonal lift (Gb.4.19)
The Power lift (Gb.4.20)
The Tripod lift (Gb.4.21)

Gambar 4.14

Gambar 4.15

Gambar 4.16

Gambar 4.17

Gambar 4.18

Gambar 4.19

Gambar 4.20

Gambar 4.21

❖ Berbaring dan Bangun dari tempat tidur (Gb.4.22)

Jika sisi kanan lebih nyeri, maka berbaring pada sisi kanan dari tempat tidur.

1. Duduk di tepi tempat tidur dengan lutut menekuk
2. Biarkan kepala dan batang tubuh kebawah ke atas tempat tidur untuk berbaring di sisi kanan dan bawa kaki ke atas tempat tidur.
3. Berguling secara berhati-hati pada tempat tidur dengan lutut menekuk
4. Prosedur sebaliknya dilakukan bila akan bangun dari tempat tidur.

Gambar 4.22

❖ Posisi untuk tidur (Gb.4.23)

Gambar 4.23

❖ Memasuki Mobil (Gb.4.24)

Tekuk pinggul dan lutut dengan tulang belakang yang sedikit fleksi dan turunkan badan anda ke tempat duduk menghadap pintu. Letakkan satu tangan pada pintu untuk membantu. Fleksikan pinggul dan lutut lebih lanjut untuk membawa kaki kedalam mobil. Pergunakan tangan, balikkan seluruh tubuh dan kaki sebagai satu kesatuan untuk menghadap kedepan dalam mobil tanpa memutar punggung. Lakukan langkah sebaliknya bila akan keluar mobil.

Gambar 4.24

❖ Duduk di Mobil (Gb.4.25)

Janganlah mengendarai mobil bila sedang mengalami nyeri punggung yang berat.

Gambar 4.25

❖ Mengangkat barang dengan punggung dari mobil (Gb.4.26)

Gambar 4.26

V. Rangkuman