



Pertumbuhan dan Perkembangan Otot, Tendon, Ligamen, Tulang, Sendi, Axis dalam Gerak serta Upaya untuk Pengoptimalan Kualitas Gerak pada Peserta Didik: Sebuah Tinjauan

Pinton Setya Mustafa ^{1*}

¹ Universitas Islam Negeri Mataram, Indonesia

Email: pintonsetyamustafa@uinmataram.ac.id ^{1*}

Article Info

Received: 01 Agustus 2023

Accepted: 15 September 2023

Abstrak: Pertumbuhan dan perkembangan merupakan proses yang terus menerus dalam kehidupan manusia. Aspek-aspek seperti otot, tendon, ligamen, tulang, dan sendi memainkan peran penting dalam menghasilkan dan memfasilitasi gerakan, yang berkontribusi pada kebugaran jasmani dan kualitas hidup. Tujuan studi ini bertujuan untuk meninjau pertumbuhan dan perkembangan otot, tendon, ligamen, tulang, sendi, dan axis dalam gerak pada manusia, serta upaya yang dilakukan untuk mengoptimalkan kualitas gerak. Metode penelitian ini dilakukan melalui tinjauan literatur yang komprehensif, mencakup berbagai sumber dan studi yang relevan terhadap topik dari buku maupun jurnal. Hasil tinjauan menguraikan bahwa otot sebagai alat gerak aktif, tendon dan ligamen sebagai penghubung, tulang sebagai alat gerak pasif, dan sendi sebagai penghubung antar tulang, semuanya memainkan peran penting dalam gerak. Analisis gerak dapat dilakukan melalui identifikasi bidang dan axis atau sumbu gerak. Latihan peregangan merupakan alternatif sebagai salah satu metode efektif untuk merangsang dan meningkatkan kualitas gerak. Kesimpulan yang dapat ditarik yaitu dengan memahami dan mengoptimalkan fungsi otot, tendon, ligamen, tulang, dan sendi dapat berkontribusi terhadap peningkatan kualitas gerak. Lebih lanjut, latihan peregangan dapat menjadi alat yang efektif dalam merangsang dan meningkatkan gerak dalam tubuh manusia.

Kata Kunci: Otot, Tendon, Ligamen, Tulang Dan Sendi, Axis Gerak

Citation: Mustafa, P. S. (2023). Pertumbuhan dan Perkembangan Otot, Tendon, Ligamen, Tulang, Sendi, Axis dalam Gerak serta Upaya untuk Pengoptimalan Kualitas Gerak pada Peserta Didik: Sebuah Tinjauan. *Medika: Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 3(2), 1-14.

Pendahuluan

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan proses yang terjadi pada diri manusia secara berkesinambungan mulai lahir hingga dewasa. Pertumbuhan adalah perubahan yang bersifat kuantitatif, yaitu bertambahnya jumlah, ukuran, dimensi pada tingkat sel, organ, maupun individu serta tidak hanya bertambah besar secara fisik, melainkan juga ukuran dan struktur organ-organ tubuh dan otak (Soejiningsih & Ranuh, 2012). Pertumbuhan adalah aktivitas biologis yang dominan untuk sebagian besar dari dua dekade pertama kehidupan (Institute of Medicine (IOM), 2013). Sedangkan perkembangan adalah bertambahnya kemampuan struktur dan fungsi tubuh yang lebih kompleks, dalam pola yang teratur dan dapat diramalkan serta menyangkut proses diferensiasi sel tubuh, organ, dan sistem organ yang berkembang sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi fungsinya, termasuk juga perkembangan kognitif, bahasa, motorik, emosi, dan perkembangan perilaku sebagai hasil dari interaksi dengan lingkungannya



(Saputra et al., 2015). Perkembangan adalah pola perubahan yang dimulai sejak pembuahan, yang berlanjut sepanjang rentang hidup yang kebanyakan perkembangan melibatkan pertumbuhan, meskipun juga melibatkan penuaan (Hakim & Mustafa, 2023). Perkembangan juga mengacu pada perolehan dan penyempurnaan perilaku yang berkaitan dengan kompetensi dalam berbagai domain yang saling terkait, seperti kompetensi motorik, kompetensi sosial/emosional, dan kognitif (Institute of Medicine (IOM), 2013). Dalam pertumbuhan dan perkembangan saling berkaitan, sebab dengan adanya pertumbuhan maka manusia juga menunjang untuk berkembang. Anak adalah kenyataan masa kini dan harapan masa depan, oleh karena itu perlu dibina pertumbuhan dan perkembangannya, karena anak adalah juga sumber daya manusia untuk masa depan (Giriwijoyo & Sidik, 2013).

Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK) merupakan bagian dari kurikulum standar bagi Lembaga Pendidikan Dasar dan Menengah (Mustafa, 2023). Melalui PJOK akan dapat dikembangkan secara sempurna baik aspek fisik, psikomotor, kognitif, dan afektif (Khomsin, 2000). Masalah yang sering terjadi ketika pembelajaran PJOK tidak sesuai dengan karakteristik peserta didik, sehingga di pertemuan selanjutnya mereka tidak mau mengikuti PJOK lagi (Tarigan, 2011). Selain itu PJOK di Lembaga-Lembaga Pendidikan ini belum dapat memposisikan dirinya pada tempat yang terhormat, bahkan masih sering dilecehkan; misalnya pada masa-masa menjelang ujian akhir sesuatu jenjang Pendidikan maka PJOK dihapuskan dengan alasan agar para siswa dalam belajarnya untuk menghadapi ujian akhir tidak terganggu (Giriwijoyo & Sidik, 2013). Berdasarkan data Menpora tahun 1997 antara lain ditemukan bahwa terjadi penurunan tingkat kebugaran jasmani siswa secara nasional menunjukkan bahwa 45,9% siswa yang berusia antara 16-19 tahun, memiliki tingkat kebugaran jasmani dengan kategori kurang dan kurang sekali, sedangkan siswa yang berusia antara 13-15 tahun, sejumlah 37% memiliki tingkat kebugaran jasmani yang berada pada kategori kurang dan kurang sekali, kemudian secara keseluruhan siswa yang berusia 13-19 tahun tidak ada yang memiliki tingkat kebugaran jasmani yang berada pada kategori baik sekali (Tarigan, 2011). Padahal semua bentuk kegiatan manusia selalu memerlukan dukungan fisik atau jasmani, sehingga masalah kemampuan fisik atau jasmani merupakan faktor dasar bagi setiap aktivitas manusia (Giriwijoyo, 2007; Mustafa, 2021) serta tidak boleh diabaikan terutama di sekolah. Sebaiknya pola pembelajaran gerak dalam PJOK juga sejalan dengan kondisi peserta didik sehingga dapat memberikan stimulus positif terhadap perkembangannya (Mustafa, 2022). Keaktifan gerak sangat berpengaruh dalam kehidupan manusia agar terhindar dari resiko penyakit degeneratif (Tarigan, 2011).

Guru PJOK sebaiknya memahami ilmu faal olahraga untuk dasar pelaksanaan pembelajaran PJOK baik di dalam maupun luar sekolah (Tarigan, 2011). Dalam pembelajaran PJOK yaitu penerapan pendidikan melalui gerak. Gerakan pada manusia terjadi karena adanya sistem organ yang menggerakkan. Sistem organ dalam gerakan terdiri dari otot, tendon, ligamen, tulang, dan sendi. Tulang adalah alat gerak pasif. Otot sebagai alat gerak aktif yang melekat pada tulang (Wiarso, 2013). Otot mempunyai dua fungsi umum membangkitkan gerakan, menghasilkan gaya/kekuatan, dan panas dalam menjaga homeostasis suhu tubuh (Silverthorn, 2013). Selain itu untuk melakukan berbagai gerakan, di antara tulang yang satu dengan tulang yang lainnya dihubungkan oleh suatu jaringan yang disebut dengan sendi. Ligamen dan tendon menjadi komponen penunjang yang sangat penting sebagai penunjang sendi. Selain itu gerak anatomis manusia juga ditentukan oleh bidang gerak dan axis gerak (Hamill et al., 2015). Dengan demikian sebagai pendidik yang terjun dalam bidang PJOK sebaiknya harus memahami dan mengaplikasikan ilmu fisiologi dan biomekanika atau kinesiologi dalam pelaksanaan pembelajaran PJOK.

Adapun tujuan dari artikel ini adalah membahas tentang pertumbuhan dan perkembangan otot, tendon, ligamen, tulang, sendi, bidang gerak, dan axis/sumbu gerak dalam manusia serta gerakan yang menstimulan pertumbuhan dan perkembangan.

Metode

Studi ini adalah sebuah tinjauan literatur yang menggunakan metode kualitatif. Dalam tinjauan literatur, berbagai sumber rujukan seperti buku dan hasil penelitian sebelumnya dikaji untuk dianalisis. Tujuannya adalah untuk mengekstrak dan menemukan konsep-konsep yang dapat menjadi referensi baru di masa mendatang (Budiwanto, 2017). Langkah-langkah studi penelitian meliputi: (1) tahap awal yang melibatkan penentuan topik, (2) tahap kedua yang melibatkan pencarian sumber rujukan yang relevan, dan (3) tahap akhir yang melibatkan penulisan hasil temuan dari berbagai referensi yang telah dikumpulkan (Creswell & Creswell,

2018). Pada tahap persiapan dalam penelitian ini adalah pemilihan topik tentang konsep berbagai konsep pertumbuhan dan perkembangan gerak ditinjau dari otot, tendon, tulang, sendi, ligamen, bidang gerak, axis gerak, dan variasi gerak pada manusia sebagai dasar untuk menelusuri sumber referensi yang relevan. Kemudian pada tahap pelaksanaan adalah mencari sumber-sumber yang relevan terkait dengan topik pertumbuhan dan perkembangan gerak pada manusia dari segi aspek yang menunjang proses gerak. Sumber referensi yang ditelusuri dalam penelitian ini berasal dari buku-buku dan artikel yang telah dipublikasikan oleh jurnal online. Penelitian tinjauan literatur ini hanya menyajikan konsep dan kajian pertumbuhan dan perkembangan otot, tendon, ligamen, tulang, sendi, axis dalam gerak pada manusia serta upaya untuk pengoptimalan kualitas gerak. Langkah terakhir adalah menuliskan hasil penelusuran referensi tersebut dalam sebuah uraian ringkas untuk kemudian disimpulkan. Dalam penelitian ini, proses analisis data dilakukan dengan pendekatan kualitatif yang mencakup tahapan-tahapan berikut: reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Sugiyono, 2019). Pada tahap reduksi data dilakukan dari hasil temuan yang didapat melalui buku dan publikasi ilmiah yang dipaparkan secara teori maupun praktis. Selanjutnya dideskripsikan dengan penyajian kalimat-kalimat singkat yang jelas dan mudah dimengerti. Pada tahap akhir, dapat ditarik kesimpulan dari berbagai uraian referensi yang menjadi acuan penulisan.

Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil tinjauan dan pembahasan ini diuraikan tentang pertumbuhan dan perkembangan otot, tendon, ligamen, tulang, sendi, bidang gerak dan axis/sumbu gerak dalam manusia serta gerakan yang menstimulan pertumbuhan dan perkembangan.

Pertumbuhan dan Perkembangan Otot

Tubuh manusia memiliki tiga jenis jaringan otot: otot rangka, otot jantung, dan otot polos. Otot rangka melekat pada tulang rangka sehingga dapat mengatur pergerakan tubuh. Otot jantung hanya ditemukan pada organ jantung dan berfungsi untuk mengalirkan darah melalui sistem sirkulasi. Otot polos merupakan terdapat pada organ dalam dan saluran seperti lambung, kandung kemih, dan pembuluh darah yang berfungsi untuk menggerakkan materi ke dalam, ke luar, dan di dalam tubuh (Silverthorn, 2013).

Otot-otot yang berada pada tubuh manusia memiliki karakteristik (1) iritabilitas adalah kemampuan otot untuk menerima dan menanggapi rangsang yang bermacam-macam, (2) kontraktibilitas adalah apabila otot menerima rangsang, maka otot akan memiliki kemampuan untuk memendek, (3) ekstensibilitas adalah kemampuan untuk memanjang baik dalam keadaan aktif dan pasif otot, (4) elastisitas adalah apabila otot dalam keadaan memendek atau memanjang, maka otot memiliki kemampuan untuk kembali seperti semula ketika beristirahat (Wiarso, 2013).

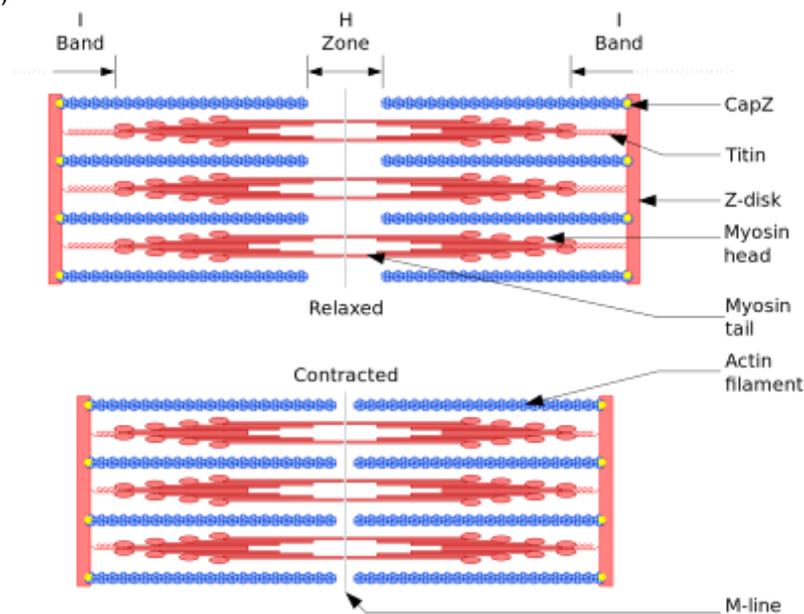
Otot rangka membentuk bagian terbesar massa otot tubuh dan merupakan 40% berat badan total (Silverthorn, 2013). Tubuh manusia memiliki lebih dari 600 otot rangka (Wiarso, 2013). Otot ini menempati dan menggerakkan tulang rangka yang dilekatkan pada tulang oleh tendon. Origo otot adalah ujung otot yang melekat lebih dekat dengan batang tubuh atau pada tulang yang tidak bergerak. Insersio otot adalah bagian yang lebih distal atau melekat pada bagian yang lebih dapat bergerak (Silverthorn, 2013). Pada persendian yang dapat bergerak, kontraksi otot akan menggerakkan tulang. Otot fleksor akan saling mendekatkan tulang, ekstensor akan saling menjauhkan tulang. Pasangan fleksor-ekstensor adalah contoh kelompok otot antagonis (Silverthorn, 2013).

Otot rangka adalah kumpulan serat otot, berupa sel besar berinti banyak (Silverthorn, 2013). Otot itu dapat menyesuaikan dirinya dengan bentuk tubuh yang berubah dalam filum berkembang tanpa perubahan yang diperlukan dalam pembentukan genetik spesies penyusunnya (Haines, 1932). Struktur otot rangka pada manusia terdiri dari (1) otot yaitu muscle tersusun dari serabut-serabut otot, (2) miofibril yaitu sel otot multinuclear tunggal yang mengandung semua organel sel umum dan terdapat miofibril, (3) miofibril: ujung-ujung dari sarkomer, (4) sarkomer unit kontraktil yang tersusun dari aktin dan miosin, (5) aktin terdiri dari protein yang berjumlah ratusan, (6) miosin terdiri dari ratusan molekul miosin yang di susun seperti kompleks berdampingan (Wiarso, 2013).

Adapun proses kontraksi otot adalah sebagai berikut. Otot mulai berkontraksi apabila terkena rangsangan. Kontraksi otot dikenal dengan nama "model pergeseran filamen" (*sliding filament mode*) Kontraksi otot diawali oleh datangnya impuls saraf. Pada saat datang impuls, sinapsis atau daerah hubungan antara saraf dan serabut otot dipenuhi oleh asetilkolin. Asetil-

kolin ini akan merembeskan ion-ion kalsium (Ca^{2+}) ke serabut otot. Ion kalsium akan bersenyawa dengan molekul, troponin, dan tropomiosin yang menyebabkan aktin miosin mengerut (berkontraksi) (Silverthorn, 2013).

Kontraksi yang terjadi membutuhkan energi. Saat kontraksi terjadi, filamen aktin akan berjalan di antara miosin ke dalam zona H (zona H, yaitu bagian terang di antara dua pita gelap). Dengan keadaan yang demikian itu, terjadi pemendekan serabut otot. Namun demikian, ada serabut yang tetap panjang, yaitu garis M (anisotrop/pita gelap), sedangkan garis Z (isotrop/pita terang) dan daerah H bertambah pendek waktu terjadi kontraksi. Bagian ujung miosin dapat berkaitan dengan ATP dan menghidrolisis ATP tersebut menjadi ADP. Energi dilepaskan dengan cara mencegah pemindahan ATP ke miosin yang diubah bentuk menjadi konfigurasi energi tinggi. Miosin yang berenergi tinggi tersebut kemudian berikatan dengan aktin membentuk jembatan silang. Segera setelah terbentuk, jembatan silang tersebut membebaskan sejumlah energi dan menyampaikan energi tersebut ke arah aktin. Proses ini menyebabkan aktin mengerut. Secara keseluruhan sarkomer ikut mengerut yang mengakibatkan otot pun berkerut. Kepala miosin akan lepas dari aktin. Proses ini memerlukan ATP yang diambil dari sekitarnya. Dengan peristiwa ini, maka aktin akan lepas dari miosin. Secara keseluruhan otot akan relaksasi kembali (Silverthorn, 2013).



Gambar 1. Kontraksi Otot Sliding Filamen

Ada dua jenis kontraksi yaitu: (1) kontraksi isotonik menghasilkan tenaga saat otot memendek dan memindahkan beban (2) kontraksi isometrik menghasilkan tenaga tanpa memindahkan beban. Kontraksi pemanjangan menghimpun tenaga bersamaan dengan terjadinya pemanjangan otot (Silverthorn, 2013).

Metabolisme energi untuk otot rangka yaitu terdiri dari ATP-PC (Fosfokeatin), Glikolisis – Asam Laktat, Oksidatif. ATP-PC menyediakan energi yang digunakan untuk aktivitas singkat dan intensitas tinggi. Glikolisis Asam laktat terjadi jika ATP-PC digunakan relatif lama sehingga menyebabkan sistem anaerob. Metabolisme oksidatif berarti mengombinasikan oksigen dengan produk akhir glikolisis dan berbagai zat makanan untuk membebaskan energi.

Otot pada manusia akan mengalami perubahan sesuai dengan fungsinya (DiGirolamo et al., 2013), di antaranya: (1) hipertrofi yaitu otot memiliki massa yang besar akibat peningkatan filamen aktin miosin pada serat otot, (2) Atrofi yaitu otot mengalami penurunan massa akibat tidak digunakan dalam jangka waktu yang lama, (3) Penentuan panjang otot yaitu apabila otot diregangkan melebihi batas normal akan membentuk sarkomer baru, (4) Hyperplasia serat otot yaitu peningkatan jumlah serat otot (Wiarto, 2013).

Pertumbuhan dan Perkembangan Tendon

Tendon adalah jaringan ikat yang menghubungkan tulang dengan otot (Silverthorn, 2013). Tendon sering juga disebut sebagai urat otot (Yang et al., 2013). Tendon berfungsi untuk menyeimbangkan tulang dan otot sehingga memudahkan terjadinya gerakan (Rothrauff et al.,

2017). Tendon yang menempel pada tulang dan dapat bergerak disebut *insersio* (insertian = sisipan), sedangkan tendon yang menempel pada tulang dan tidak dapat bergerak disebut *origo* (origin = asal). Struktur tendon pada ujung otot terlihat mengecil, liat, dan keras. Tendon itu diperpanjang oleh metamorfosis jaringan otot sebagai respons terhadap batasan kisaran kemungkinan kontraksi yang ditentukan oleh sifat keterikatan otot (Haines, 1932).

Fungsi utama tendon adalah untuk membantu terjadinya gerakan yang mudah, bebas, efektif, dan efisien (Benjamin et al., 2008). Saat terjadinya gerakan, tendon juga akan menyesuaikan perubahan posisi tulang dengan otot sedemikian rupa sehingga gerakan tersebut sempurna (Wilson & Lichtwark, 2011). Fungsi tendon sangat berhubungan dengan kontraksi (pemendekan) dan relaksasi (pemanjangan) otot (Kubo et al., 2017). Saat otot melakukan kontraksi, maka tendon mentransmisikan energi dari kontraksi tersebut ke tulang dan sendi, demikian pula ketika terjadinya relaksasi otot, tendon juga akan menyesuaikan keadaannya (Roberts & Konow, 2013). Walaupun memiliki struktur yang sangat kuat, tendon juga dapat rusak (Thomopoulos et al., 2015). Cedera pada tendon paling sering disebabkan karena dipakai secara berlebihan atau karena kecelakaan (Migliorini, 2011).

Struktur terkecil penyusun tendon adalah fibril kolagen, fibril ini bersifat padat, kuat dan fleksibel (Kannus, 2000). Sifat serat kolagen akan membuatnya tahan terhadap tarikan dan dorongan antara tulang dengan otot (Franchi dkk, 2007:415). Jika ditinjau lebih jauh maka masih kita dapatkan molekul dasar penyusun fibril kolagen, yaitu beberapa tropokolagen yang bersatu membentuk mikrofibril, dan gabungan mikrofibril kolagen yang bersatu membentuk subfibril kolagen, kemudian barulah gabungan subfibril akan membentuk fibril kolagen. Selanjutnya sekelompok fibril kolagen akan bergabung dan dilapisi lapisan pelindung membentuk untaian dalam satu kesatuan yang disebut serat kolagen. Kemudian gabungan beberapa serat kolagen dan dilapisi oleh lapisan endotendon akan membentuk Bundel Serat Kolagen Primer (Sub-fasicle). Serat kolagen primer akan bergabung dan dilapisi oleh lapisan endotendon (lapisan yang berfungsi melindungi dan menstabilkan tendon) membentuk Bundel Serat Kolagen Sekunder (fasicle). Gabungan dari beberapa Bundel serat kolagen sekunder dan dilapisi oleh lapisan endotendon (Lapisan yang berfungsi melindungi dan menstabilkan tendon) membentuk Bundel Serat Kolagen Tersier (Kannus, 2000). Kumpulan dari Bundel serat kolagen tersier ini bersama dengan lapisan epitendon (lapisan luar tendon) akan membentuk struktur tendon yang sempurna.

Pertumbuhan dan Perkembangan Ligamen

Ligamen adalah jaringan berbentuk pita yang tersusun dari serabut-serabut yang berperan dalam menghubungkan antara tulang yang satu dengan tulang yang lain pada sendi (Wirasasmita, 2013). Ligamen adalah pita jaringan elastis yang mengikat luar ujung tulang yang saling membentuk persendian, membantu mengontrol rentang gerak, dan menstabilkan mereka sehingga tulang dapat bergerak dengan baik (Yang et al., 2013). Tanpa adanya ligamen, antara tulang yang satu dengan tulang yang lain tidak akan menyatu dan juga tidak dapat melakukan pergerakan saat otot berkontraksi (Vleeming et al., 2012). Walaupun bisa, gerakan yang ditimbulkan tidak akan sempurna (Babazadeh et al., 2009).

Ligamen biasanya memiliki elastisitas yang tinggi, yang dapat memperpanjang dan mengubah bentuk mereka ketika berada dalam ketegangan dan kemudian kembali ke bentuk aslinya saat ketegangan itu mereda (Green et al., 2014). Ligamen merupakan jaringan ikat yang memiliki komponen-komponen biomekanik yang unik. Ia digambarkan sebagai pita padat jaringan ikat kolagen. Struktur ligamen terdiri dari protein yang disebut dengan kolagen. Protein kolagen ini berbentuk panjang, fleksibel, dan berbentuk seperti benang atau serat (Frank, 2004). Kehadiran jaringan kolagen membuat kulit menjadi elastis dan membentuk sebagian besar jaringan ikat. Sifat elastis yang dimilikinya membuat kulit dapat teregang ketika tubuh melakukan gerakan seperti melipat siku, dan lain sebagainya. Serat kolagen sering diatur dalam pola persimpangan, yang membantu mencegah sendi tubuh bergerak melebihi batas kewajarannya.

Adapun fungsi umum ligamen adalah sebagai berikut yaitu: (1) Menentukan rentang gerakan, maksudnya ligamen yang berada dalam setiap sendi tubuh bertanggung jawab terhadap menentukan sejauh mana rentang gerakan yang dari sendi tersebut. Sehingga dengan demikian, dapat mencegah terjadinya dislokasi sendi (Lee & Hyman, 2002). Ligamen juga dapat membantu mencegah hiperekstensi tulang atau sendi (Frank, 2004). Jadi singkatnya, ligamen berfungsi untuk menstabilkan sendi dan membimbing mereka selama gerakan; (2) Perlindungan tulang dan sendi, maksudnya ligamen dapat memberikan perlindungan terhadap tulang dan sendi dari

patah, dikarenakan ketika terjadi ketegangan pada sendi, ligamen dapat berubah bentuk di bawah beban konstan (Ralphs & Benjamin, 1994); (3) Proprioseptif yaitu ligamen adalah untuk mempertahankan postur seseorang dengan sistem proprioseptif. Contohnya ialah ketika sendi lutut dibengkokkan, maka akan merangsang saraf proprioseptif untuk membuat kontraksi otot pada saat yang bersamaan, sehingga membuat orang menyadari posisi lutut dan kaki (Dhillon et al., 2011; Mustafa, 2020).

Pada dasarnya, prinsip kerja dari ligamen sangat berkaitan dengan tendon. Ligamen dan tendon merupakan jaringan pasif yang tidak memiliki kemampuan melakukan kontraksi untuk menghasilkan gerakan (Riemann & Lephart, 2002). Oleh karena itu pada ruang yang pergerakannya terbatas, kerjasama otot ke tulang dilaksanakan oleh ligamen.

Ligamen sendiri berperan melanjutkan gaya yang ditransmisikan dari otot antara tulang yang satu dengan tulang yang lain, sehingga ketika terjadi suatu pergerakan, stabilitas sendi dapat dipertahankan (Benjamin et al., 2006). Ligamen termasuk kuat dan tidak akan putus dengan mudah. Kerusakan umumnya terjadi di pertemuan dengan tulang (Merkel & Molony, 2012).

Pertumbuhan dan Perkembangan Tulang

Adapun fungsi tulang yaitu: (1) menyongkong struktur tubuh, (2) sebagai alat gerak bersama dengan otot, (3) sebagai tempat melekatnya otot, (4) sebagai pelindung organ lunak dan vital, (5) tempat memproduksi sel-sel darah, (6) tempat penyimpanan cadangan mineral, berupa kalsium dan fosfat, serta cadangan lemak (Supriyadi & Wardani, 2010).

Berdasarkan bahan pembentuknya tulang rawan (Mansour, 2003) terdiri dari yaitu: (1) Tulang Rawan Hialin, memiliki ciri-ciri mempunyai matriks yang transparan, merupakan jenis tulang rawan yang paling banyak terdapat di dalam tubuh manusia, banyak terdapat di hidung, sendi gerak dan ujung tulang rusuk, tulang yang berwarna putih sedikit kebiru-biruan, mengandung serat-serat kolagen dan chondrosit, tulang rawan hialin dapat kita temukan pada laring, trakea, bronkus, ujung-ujung tulang panjang, tulang rusuk bagian depan, cuping hidung dan rangka janin. (2) Tulang Rawan Fibrosa ciri-ciri mempunyai matriks yang berisi kolagen yang kaku, merupakan jenis tulang rawan yang dapat dijumpai di bagian tubuh yang memerlukan kekuatan besar, misalnya pada ruas tulang belakang dan lutut, tulang yang mengandung banyak sekali bundel-bundel serat kolagen sehingga tulang rawan fibrosa sangat kuat dan lebih kaku, tulang ini dapat kita temukan pada discus diantara tulang vertebrae dan pada simfisis pubis diantara 2 tulang pubis. (3) Tulang Rawan Elastik ciri-ciri tulang rawan elastik terbentuk dari serabut elastik yang lentur, tulang rawan ini tidak akan mengalami perubahan menjadi tulang keras, meskipun orang tersebut telah dewasa, banyak dijumpai di dalam telinga, cuping hidung dan epiglottis, tulang yang mengandung serabut-serabut elastis.

Tulang keras berasal dari tulang rawan yang mengalami asifikasi (pengerasan), dibentuk oleh osteosit yang banyak mengeluarkan matriks. Matriks tulang keras mengandung sedikit kolagen dan mengandung banyak kalsium dan fosfor. Kalsium dan fosfor yang terkandung dalam matriks menyebabkan tulang menjadi keras dan tidak lentur.

Adapun klasifikasi tulang berdasarkan penyusunnya: (1) Tulang kompak yaitu tulang ini teksturnya halus dan sangat kuat. Selain itu tulang kompak memiliki sedikit rongga dan lebih banyak mengandung kapur (Calsium Phosfat dan Calsium Carbonat) sehingga tulang menjadi padat dan kuat. Kandungan tulang manusia dewasa lebih banyak mengandung kapur dibandingkan dengan anak-anak maupun bayi. Bayi dan anak-anak memiliki tulang yang lebih banyak mengandung serat-serat sehingga lebih lentur. (2) Tulang Spongiosa (Spongy Bone) ciri-ciri pada lapisan ketiga ada yang disebut dengan tulang spongiosa, sesuai dengan namanya tulang spongiosa memiliki banyak rongga, rongga tersebut diisi oleh sumsum merah yang dapat memproduksi sel-sel darah, tulang spongiosa terdiri dari kisi-kisi tipis tulang yang disebut trabekula.

Klasifikasi tulang berdasarkan bentuknya yaitu: (1) Tulang panjang/pipa : tulang yang ukuran panjangnya terbesar, contoh : humerus, femur, radius, ulna. (2) Tulang pendek: tulang yang ukurannya pendek, contoh : tulang pergelangan tangan dan pergelangan kaki. (3) Tulang pipih: tulang yang ukurannya lebar, contoh : tulang tengkorak kepala, tulang rusuk dan sternum. (4) Tulang tidak beraturan, contoh : vertebra, tulang muka, pelvis (Supriyadi & Wardani, 2010).

Struktur tulang, tulang merupakan jaringan ikat khusus, yang tersusun atas sel yang tertanam di dalam matriks serat organik dan ion anorganik (Weatherholt et al., 2012). Sel itu sendiri terbagi atas tiga bagian. (1) Osteoblas terbentuk dari sel induk yang dikenal sebagai sel

mesenkimal. Sel-sel induk ini juga dapat membentuk jaringan tulang rawan, serta berbagai jenis jaringan. Osteoblas adalah salah satu produk akhir sel induk mesenkimal. (2) Osteosit terbentuk dari osteoblas, dan menjadi bagian dari tulang (dan, seperti yang dibahas di atas, 'menjadi' osteosit) saat matang. (3) Osteoklas yang berasal dari sel-sel di sumsum tulang. Osteoklas melakukan pekerjaan memecah material komposit dalam tulang, dengan bantuan asam dan kolagenase protein. Kalsium dalam tulang bertindak dengan osteoklas kemudian dikirim kembali ke dalam aliran darah (Florencio-Silva et al., 2015).

Pertumbuhan dan Perkembangan Sendi

Sendi adalah tiap persambungan dalam pertautan antara dua tulang atau lebih (Wirasasmita, 2013). Persendian dapat diklasifikasikan dengan dua cara, berdasarkan kemungkinan adanya gerak berdasarkan tulang yang bersendi, berdasarkan strukturnya.

Adapun klasifikasi persendian berdasarkan adanya gerak yaitu: (1) sinatrosis adalah persendian yang tidak memungkinkan adanya gerak sama sekali antara dua tulang yang besambungan (sendi mati), contohnya adalah sutura, yaitu persendian antara tulang-tulang tengkorak, contoh lainnya adalah persendian antara diafisis dan efifisis dari tulang panjang, (2) amfiatrosis adalah persendian yang masih memungkinkan adanya sedikit gerakan antara dua tulang yang bersendi, dan permukaan persendiannya dibatasi oleh jaringan antar, jaringan ini dapat berupa jaringan tulang rawan fibrosa atau jaringan tulang rawan hialin, contohnya Amfiatrosis yang dibatasi oleh tulang rawan fibrosa adalah simfisis pubis dan persambungan antara ruas-ruas tulang belakang, sedangkan contoh yang dibatasi oleh tulang rawan hialin adalah persambungan persambungan antara tulang rusuk dan tulang dada, (3) diartrosis adalah persendian yang memungkinkan adanya gerak bebas antara tulang tulang yang bersendi (Persendian sinovial), dengan ciri-ciri sebagai berikut; Persendian diselubungi kapsul dari jaringan ikat fibrosa, yang disebut kapsul fibrosa, Di sebelah dalam kapsul ini dibatasi oleh jaringan ikat halus yang disebut membrane sinovial, yang berfungsi menghasilkan cairan pelumas untuk mengurangi gesekan antar tulang, Permukaan sendi dilapisi oleh tulang rawan hialin, Kapsul fibrosa kadang-kadang diperkuat oleh ligament (Supriyadi & Wardani, 2010).

Sebagian besar persendian rangka tubuh manusia adalah diartrosis, dan dibedakan menjadi 6 macam (Marieb & Hoehn, 2012), yaitu: (1) sendi Luncur; permukaan sendi biasanya datar, hanya memungkinkan melakukan gerakan kiri-kanan dan muka-belakang. Persendian seperti ini disebut persendian dua sumbu (biaksial), contohnya persendian antara tulang-tulang karpal, antara tulang-tulang tarsal, antara sntum dan klavikula, dan antara skavula dan klavikula. (2) Sendi Engsel; permukaan sendi tulang pertama cekung, sedangkan permukaan sendi tulang kedua cembung, dan permukaan cembung tepat dapat masuk ke permukaan cekung. Persendian ini memungkinkan gerakan hanya pada satu bidang datar, termasuk persendiansatu sumbu (monoaksial) dan merupakan dan merupakan gerak refleksi dan ekstensi, contohnya adalah sendi siku dan lutut. (3) Sendi Putar; permukaan tulang pertama yang membulat, meruncing, atau berbentuk kerucut, bersendi dengan lekuk yang dangkal dari tulang lain: memungkinkan gerak utama memutar dan merupakan persendian monoaksial, contohnya adalah tulang atlas (menggenggelkan kepala), persendian antara ujung proksimal tulang radius dan ulna yang menghasilkan gerakan spinasi dan pronasi tapak tangan.(4) Sendi Pelana; permukaan tulang pertama cekung, sedangkan permukaan tulang tulang kedua cembung, dan permukaan cembung tepat dapat masuk ke permukaan cekung. Persendian ini memungkinkan gerakan menyamping (kiri-kanan) dan muka-belakang, sehingga persendian ini termasuk persendian biaksial, contohnya adalah tulang trapesium dan metacarpal dari ibu jari.(5) Sendi Peluru; permukaan sendi tulang pertama berbentuk seperti bola,masuk ke permukaan cekung seperti mangkuk dari tulang kedua sehingga memungkinkan terjadinya gerak traksial, yaitu gerak fleksi dan ekstensi, abduksi dan aduksi, serta rotasi, contohnya persendian antara tulang lengan atas dan tulang belikat dan persendian antara tulang paha dengan tulang pinggul.(6) Sendi Elipsoidal; ujung tulang berbentuk oval masuk kecekungan tulang lain yang berbentuk elips. Persendian ini memungkinkan gerakan kiri-kanan dan muka-belakang, sehingga persendian ini termasuk persendian biaksial, contohnya persendian tulang radius dan tulang karpal yang memungkinkan gerak tapak tangan ke atas bawah dan ke kiri kanan.

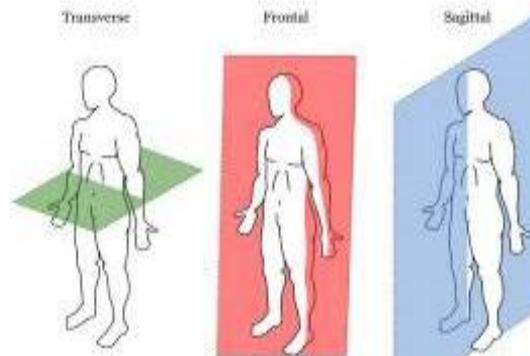
Klasifikasi persendian berdasarkan jaringan yang menghubungkan (Barbe et al., 2009). Dalam hal ini, persendian dibedakan menjadi 3, yaitu (1) Sindesmosis; persendian dimana tulang tulang yang bersendi dihubungkan oleh jaringan fibrosa pada. Misalnya pada persendian antara ujung distal tulang tibia dan fibula, juga pada sutura anak yang masih dalam pertumbuhan, (2) Sinkondrosis; Dimana tulang yang bersendi dihubungkan oleh tulang rawan hialin, contohnya

persendian antara ruas-ruas tulang belakang yang dihubungkan oleh cawan pipih dari tulang rawan fibrosa, dan persendian antara tulang rusuk dengan tulang dada yang dihubungkan oleh tulang rawan hialin, (3) Sinostosi; Dimana tulang yang bersendi dihubungkan oleh jaringan tulang, contoh satura orang dewasa, persendian antara efifisis dan diafisis tulang panjang orang dewasa, dan persendian antara tulang-tulang sacrum pada orang dewasa.

Bidang Gerak

Gerak manusia digambarkan dalam tiga dimensi berdasarkan sistem bidang dan sumbu. Tiga bidang imajiner diposisikan 'membelah' tubuh pada sudut sedemikian sehingga saling berpotongan di pusat massa tubuh (Hamill et al., 2015). Dalam posisi anatomisnya, pusat gravitasi manusia berada di promontori sakrum (Le Huec et al., 2011). Berikut ini jenis-jenis bidang gerak yaitu: (1) Bidang Sagittal - juga dikenal sebagai Bidang Median atau Anteroposterior adalah bidang imajiner yang membentang dari depan ke belakang dan dari atas ke bawah (Hamill et al., 2015). Bidang ini membelah tubuh menjadi bagian medial (dalam) dan bagian lateral (luar) (Roussouly & Nnadi, 2010); (2) Bidang Frontal - juga dikenal sebagai bidang Coronal atau Lateral - membentang dari sisi ke sisi dan dari atas ke bawah. Bidang ini membelah tubuh menjadi bagian anterior (depan) dan belakang (posterior); (3) Bidang Transversal atau bidang Horizontal, membentang dari sisi ke sisi dan dari depan ke belakang, membelah tubuh menjadi bagian superior (atas) dan inferior (bawah) (Bartlett, 2014).

Bidang sagittal tegak lurus terhadap bidang frontal yang tegak lurus terhadap bidang horizontal. Bidang-bidang ini hanyalah titik acuan. Ketiganya adalah sarana untuk menggambarkan gerak.



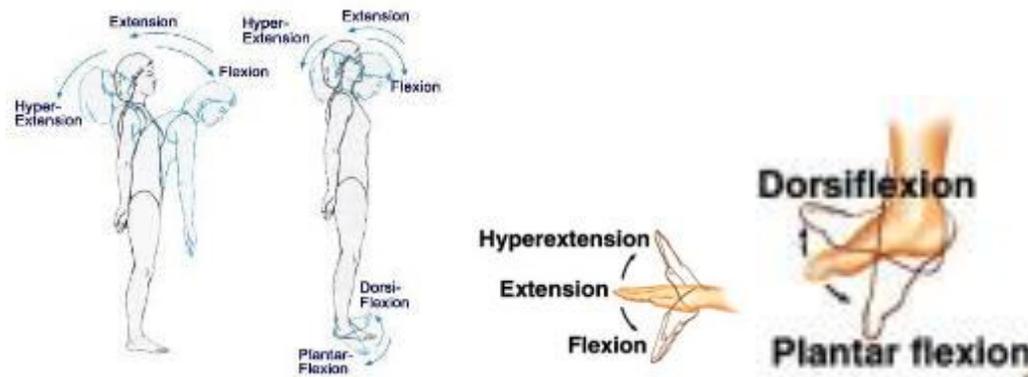
Gambar 2. Bidang Gerak

Axis/Sumbu Gerak

Sumbu digunakan untuk menggambarkan gerak rotasi otot dan tulang yaitu: (1) Axis Transversal (frontal axis): tegak lurus dengan bidang sagittal; (2) Axis Anteroposterior: rotasi bidang frontal yang terjadi melalui sumbu sagittal; (3) Axis Longitudinal: sumbu tempat terjadinya rotasi pada bidang transversal (Bartlett, 2014).

Gerak pada Bidang Sagittal - Axis Transversal

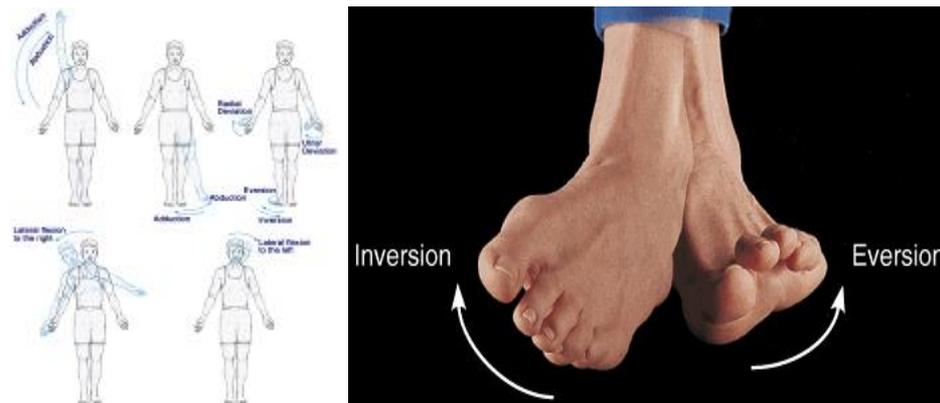
Adapun gerak pada bidang sagittal - axis transversal (Hamill et al., 2015) yaitu; (1) Fleksi – suatu gerak sendi yang memperkecil sudut sendi di antara dua tulang atau lebih. Gerak ini terjadi di sekitar sumbu transversal. Gerak fleksi menggerakkan sendi dari posisi netral ke posisi apapun pada arah yang sama dengan gerak natural sendi. Atau, jika Anda telah pada posisi ekstensi, gerak fleksi mengembalikan sendi ke posisi netral; (2) Ekstensi – gerak kebalikan dari fleksi. Ekstensi adalah gerak meluruskan di sekitar sumbu transversal ketika sendi bergerak dari posisi fleksi kembali ke posisi anatomis netral pada bidang sagittal; (3) Hiper-ekstensi adalah gerakan melampaui posisi netral atau lebih dari nol derajat. Hiper dalam konteks ini bukan berarti berlebihan, atau lebih besar dari normal, atau terlalu banyak tapi sekadar di lebih dari netral atau nol; (4) Dorsifleksi – gerak fleksi pada sendi pergelangan kaki ke arah atas, membawa kaki mendekati tungkai bawah; (5) Plantar fleksi – gerak fleksi pada sendi pergelangan kaki ke arah bawah telapak kaki, membawa kaki menjauhi tungkai bawah.



Gambar 3. Gerak pada Bidang Sagital

Gerak pada Bidang Frontal - Axis Anteroposterior

Adapun Gerak pada bidang frontal - axis anteroposterior (Hamill et al., 2015) yaitu (1) Abduksi – gerak ke samping, menjauhi tubuh pada posisi anatomis; (2) Hiper-abduksi – gerak abduksi melampaui sudut optimal yang memungkinkan; (3) Adduksi – kebalikan dari abduksi, mengarah kembali ke posisi anatomis; (4) Hiper-adduksi – gerak adduksi melebihi garis tengah tubuh; (5) Elevasi – gerak bahu ke arah telinga, seperti ketika mengangkat bahu untuk mengatakan; (6) Depresi – kebalikan elevasi, kembali ke posisi anatomis; (7) Fleksi Lateral – menekuk leher atau batang tubuh ke samping; (8) Inversi – gerak memutar kaki sehingga sisi medial telapak kaki terangkat ke dalam. Kombinasi supinasi dan adduksi; (9) Eversi – gerak memutar kaki sehingga sisi lateral telapak kaki terangkat ke luar. Kombinasi pronasi dan abduksi



Gambar 4. Gerak pada bidang Frontal

Gerak pada Bidang Transversal - Axis Longitudinal

Adapun gerak pada bidang transversal - axis longitudinal (Hamill et al., 2015), yaitu (1) Abduksi horizontal – suatu gerak unik pada bidang transversal. Misalnya, berdiri dengan lengan lurus terentang ke samping, lurus setinggi bahu dan sejajar lantai. Pindahkan lengan ke arah depan tubuh, sepanjang garis bahu dan sejajar lantai; (2) Adduksi horizontal – kebalikan abduksi horizontal. Misalnya, berdiri dengan kedua lengan terjulur ke depan tubuh, sejajar lantai. Pindahkan lengan ke samping tubuh, sepanjang garis bahu, sejajar lantai; (3) Protaksi – abduksi skapula (tulang belikat) menuju garis tengah tubuh; (4) Retraksi – adduksi skapula kembali ke posisi anatomis netral; (5) Rotasi – gerak berputar pada sendi tulang belakang meliputi (a) rotasi lateral – gerak memutar menjauhi garis tengah tubuh, (b) rotasi medial – kebalikan rotasi lateral, gerak berputar ke arah garis tengah tubuh; (6) Pronasi – rotasi ke arah dalam untuk pergelangan tangan. Pada gerak ini, ibu jari dari posisi anatomis diputar ke arah tubuh; (7) Supinasi – kebalikan dari pronasi, kembali ke posisi anatomis; (8) Sirkumduksi (Circumduction) – gerak membentuk kerucut.



Gambar 5. Gerak pada Bidang Tansversal

Upaya Menstimulan Pertumbuhan dan Perkembangan untuk Kualitas Gerak

Sebelum melakukan aktivitas olahraga hendaknya melakukan peregangan agar terhindar dari cedera (Shellock & Prentice, 1985). Peregangan mampu meningkatkan kemampuan tendon manusia, dan sebagai hasilnya meningkatkan kapasitas tendon untuk menyerap energi. Olahraga yang melibatkan keterampilan daya ledak otot, dengan banyak dan maksimal gerakan perengangan memerlukan unit otot tendon yang cukup sesuai untuk menyimpan dan melepaskan jumlah energi elastis yang tinggi (Witvrouw et al., 2004). Selain itu peregangan harus direncanakan kapan pun, tidak tergantung pada latihan atau kompetisi latihan lainnya untuk mencapai perubahan fleksibilitas yang lebih permanen untuk kesehatan atau kinerja (Behm & Chaouachi, 2011). Peregangan dapat dilakukan kurang dari 90 detik untuk tiap sesi (Samson et al., 2012). Dampak latihan peregangan (1) dapat mengurangi rasa sakit, dan memperbaiki fungsi otot dan kualitas hidup, (2) frekuensi latihan ≥ 3 kali / minggu dapat berkorelasi dengan peningkatan fungsi otot dan kualitas kehidupan (3) efek latihan peregangan bisa dideteksi sedini empat minggu pengobatan (Tunwattanapong et al., 2016). Latihan ketahanan dapat meningkatkan kekakuan struktur tendon serta kekuatan dan ukuran otot, dan latihan peregangan mempengaruhi viskositas struktur tendon namun bukan elastisitasnya (Kubo et al., 2002). Berikut contoh gerakan peregangan (Ontario, 2005).

Tabel 1. Peregangan Statis Terdiri dari Gerakan Leher, Bahu, Tangan, Pinggang, Kaki.

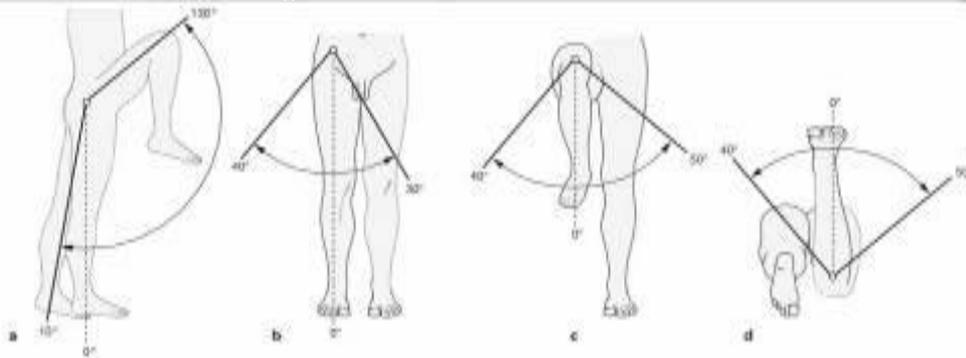
No	Nama Gerakan	Otot yang Terlibat	Hitungan
1	Mengangkat kepala ke atas	otot leher depan	8
2	Mendorong kepala ke bawah	otot leher belakang	8
3	Mendorong kepala ke kanan dan kiri	otot leher kanan dan kiri	8
4	Menoleh ke kanan dan kiri	otot leher kanan dan kiri	8
5	Bahu kanan ditekuk ke kiri	bahu kanan	8
6	Bahu kiri ditekuk ke kanan	bahu kiri	8
7	Tangan kanan dibawa kekiri, siku ditekan tangan kiri	lengan atas	8
8	Gerakan sama hanya tangan dibalik	lengan atas	8
9	Tangan kanan dibawa kebelakang, siku ditekan dengan tangan kiri	lengan atas	8
10	Gerakan sama hanya tangan dibalik	lengan atas	8
11	Tangan dirapatkan, didorong ke atas	jari dan lengan atas	8
12	Tangan dirapatkan, didorong ke atas kanan	jari dan lengan atas	8
13	Tangan dirapatkan, didorong ke atas kiri	jari dan lengan atas	8
14	Tangan dirapatkan, didorong ke depan	jari dan lengan atas	8
15	tangan dirapatkan, didorong ke belakang	jari dan lengan atas	8
16	Pinggang didorong kekanan 2x dan kiri 2x	pinggang/pinggul	2x8
17	Pinggang diputar kekanan	pinggang/pinggul	8
18	Kaki kanan ditekuk, kaki kiri diluruskan ke samping	paha bagian atas	8
19	Gerakan sama hanya kaki dibalik	paha bagian atas	8
20	Kaki kanan ditekuk, kaki kiri diluruskan ke belakang	paha bagian atas	8

No	Nama Gerakan	Otot yang Terlibat	Hitungan
21	Gerakan sama hanya kaki dibalik	paha bagian atas	8
22	Kaki diangkat ke belakang	paha bagian depan	8
23	Kaki diangkat ke samping	paha bagian samping	8
24	Posisi duduk, kedua kaki ditempelkan pada telapaknya, paha didorong ke bawah	otot bagian selangking	8
25	posisi terlentang, kaki ditekuk satu, badan diluruskan	otot paha depan	8

Tabel 2. Peregangan Dinamis

No	Nama Gerakan	Otot yang Terlibat	Hitungan
1	Mengangguk kepala ke atas dan bawah	leher depan dan belakang	2×8
2	Mengangguk kepala ke kanan dan kiri	leher samping	2×8
3	2 gerakan membuka siku, 2 gerakan merentangan tangan	ketiak	2×8
4	Gerakan lengan letter S	Bahu	2×8
5	Mengangkat kaki sampai menyentuh tangan	paha bagian atas	2×8
6	Memutar pinggang ke kanan dan kiri	pinggang	2×8
7	Tepuk tangan di atas dan membuka kaki selebar bahu	kaki dan ketiak	2×8

Setiap sendi memiliki keterbatasan gerak, oleh karena itu harus mengetahui terlebih dahulu konsep gerakan yang dihasilkan sendi sebelum melakukan aktivitas untuk meningkatkan kualitasnya. Berikut ilustrasi *range* dari keterbatasan sendi.

Gambar 6. Keterbatasan Gerak pada Sendi (*range*)

Memahami keterbatasan gerak setiap sendi adalah langkah penting sebelum memulai aktivitas fisik apa pun yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas gerakan. Setiap sendi dalam tubuh manusia memiliki batas gerakan tertentu, dan melampaui batas ini dapat berisiko cedera. Oleh karena itu, sebelum melakukan latihan atau aktivitas fisik lainnya, penting untuk mengetahui dan memahami rentang gerak alami sendi. Dengan pengetahuan ini dapat merancang dan melaksanakan latihan dengan cara yang aman dan efektif, memaksimalkan manfaat dari latihan sambil meminimalkan risiko cedera. Dengan demikian, pengetahuan tentang keterbatasan gerak sendi dan bagaimana bekerja dalam batas-batas ini adalah komponen kunci dari setiap program kebugaran yang sukses dan berkelanjutan.

Kesimpulan

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan proses yang terus dilalui oleh manusia secara berkesinambungan. Dalam memaksimalkan pertumbuhan dan perkembangan peserta didik harus senantiasa menjaga kebugaran jasmani. Salah satu upaya menjaga kebugaran adalah dengan gerak. Gerak dalam manusia terjadi karena adanya sistem organ yang berperan dalam gerakan diantaranya otot, tendon, ligamen, tulang, dan sendi. Otot rangka merupakan salah satu jenis otot yang merupakan alat gerak aktif. Tendon adalah jaringan ikat untuk melekatkan otot rangka ke tulang, sedangkan ligamen adalah jaringan ikat untuk melekatkan dari tulang ke tulang. Tulang adalah merupakan jaringan ikat khusus, yang tersusun atas sel yang tertanam di dalam matriks serat organik dan ion anorganik. Sendi merupakan gerakan yang memungkinkan sambungan antar tulang. Hasil dari variasi gerakan yang dari komposisi otot, tendon, ligamen, tulang dan sendi berbeda. Dalam ilmu anatomi gerakan dapat dianalisis dengan

bidang gerak dan axis gerak. Bidang gerak terdiri dari sagital, frontal, dan transversal, sedangkan axis gerak terdiri dari transversal, anteroposterior, dan longitudinal. Oleh karena itu gerakan-gerakan pada manusia harus dilakukan sesuai dengan karakteristiknya. Dalam menstimulasi kinerja otot, tendon dan ligamen dapat dilakukan dengan cara peregangan.

Sebagai seorang tenaga pendidikan yang terjun dalam bidang PJOK sebaiknya harus memahami dan mengaplikasikan ilmu fisiologi dan biomekanika atau lebih dikenal kinesiology dalam pelaksanaan pembelajaran. Hal tersebut dilakukan agar peserta didik dapat belajar gerak sesuai karakteristiknya dan terhindar dari cedera.

Daftar Rujukan

- Babazadeh, S., Stoney, J. D., Lim, K., & Choong, P. F. (2009). The relevance of ligament balancing in total knee arthroplasty: how important is it? A systematic review of the literature. *Orthopedic Review*, 1(2), 70–78. <https://doi.org/10.4081/or.2009.e26>
- Barbe, M. F., Driban, J., Barr, A. E., Popoff, S. N., & Safadi, F. F. (2009). Structure and Function of Joints. In *Bone Pathology* (pp. 51–60). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-347-9_2
- Bartlett, R. (2014). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge.
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2633–2651. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1879-2>
- Benjamin, M., Kaiser, E., & Milz, S. (2008). Structure-function relationships in tendons: a review. *Journal of Anatomy*, 212(3), 211–228. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.00864.x>
- Benjamin, M., Toumi, H., Ralphs, J. R., Bydder, G., Best, T. M., & Milz, S. (2006). Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites ('entheses') in relation to exercise and/or mechanical load. *Journal of Anatomy*, 208(4), 471–490. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00540.x>
- Budiwanto, S. (2017). *Metodologi Penelitian dalam Keolahragaan*. FIK UM.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications, Inc.
- Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2011). Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian Journal of Orthopaedics*, 45(4), 294–300. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.80320>
- DiGirolamo, D. J., Kiel, D. P., & Esser, K. A. (2013). Bone and Skeletal Muscle: Neighbors With Close Ties. *Journal of Bone and Mineral Research*, 28(7), 1509–1518. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1969>
- Florencio-Silva, R., Sasso, G. R. da S., Sasso-Cerri, E., Simões, M. J., & Cerri, P. S. (2015). Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International*, 2015, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2015/421746>
- Frank, C. B. (2004). Ligament structure, physiology and function. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 4(2), 199–201. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15615126>
- Giriwijoyo, H. Y. S. S. (2007). *Ilmu Faal Olahraga (fungsi tubuh manusia pada olahraga)*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Giriwijoyo, H. Y. S. S., & Sidik, D. Z. (2013). *Ilmu Faal Olahraga (Fisiologi Olahraga)*. Remaja Rosdakarya.
- Green, E. M., Mansfield, J. C., Bell, J. S., & Winlove, C. P. (2014). The structure and micromechanics of elastic tissue. *Interface Focus*, 4(2), 20130058. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2013.0058>
- Haines, R. W. (1932). The Laws of Muscle and Tendon Growth. *Journal of Anatomy*, 66(Pt 4), 578–585. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17104394>
- Hakim, L., & Mustafa, P. S. (2023). *Perkembangan Peserta Didik dalam Pembelajaran*. UIN Mataram Press.
- Hamill, J., Knutzen, M., & Derrick, R. T. (2015). *Biomechanical Basis of Human Movement* (4th ed.). Holters Kluwer Health.
- Institute of Medicine (IOM). (2013). *Educating the Student Body: Taking Physical Activity and Physical Education to School*. The National Academies Press.
- Kannus, P. (2000). Structure of the tendon connective tissue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(6), 312–320. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2000.010006312.x>
- Khomsin. (2000). Paradigma Baru Pendidikan Jasmani di Indonesia dalam Era Reformasi.

Konvensi Nasional Pendidikan Indonesia.

- Kubo, K., Ishigaki, T., & Ikebukuro, T. (2017). Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo. *Physiological Reports*, 5(15), e13374. <https://doi.org/10.14814/phy2.13374>
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *The Journal of Physiology*, 538(1), 219–226. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.012703>
- Le Huec, J. C., Saddiki, R., Franke, J., Rigal, J., & Aunoble, S. (2011). Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *European Spine Journal*, 20(S5), 558–563. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1939-7>
- Lee, M., & Hyman, W. (2002). Modeling of failure mode in knee ligaments depending on the strain rate. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-3-3>
- Mansour, J. M. (2003). Kinesiology: the mechanics and pathomechanics of human movement. In *Biomechanics of cartilage* (pp. 66–79). Lippincott Williams and Wilkins.
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. N. (2012). *Human Anatomy & Physiology* (9th ed.). Pearson.
- Merkel, D. L., & Molony, J. T. (2012). Recognition and management of traumatic sports injuries in the skeletally immature athlete. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(6), 691–704. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23316432>
- Migliorini, S. (2011). Risk factors and injury mechanism in Triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2 (Suppl.)), 309–314. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.11>
- Mustafa, P. S. (2020). Implikasi Pola Kerja Telensefalon dan Korteks Cerebral dalam Pendidikan Jasmani. *Media Ilmu Keolahragaan Indonesia*, 10(2), 53–62. <https://doi.org/10.15294/miki.v10i2.24901>
- Mustafa, P. S. (2021). Update Kegiatan Aktivitas Fisik ke Sosial Media sebagai Promosi Kesehatan di Masa Pandemi Covid-19. In A. Wijayanto, G. Mulya, A. Mukholid, & Yulianti (Eds.), *Olahraga dan Pendidikan Jasmani dalam Memacu Loncatan SDM Unggul Berkompotensi Selama Pandemi* (1st ed., pp. 43–50). Akademia Pustaka. <https://doi.org/10.31219/osf.io/mvznr>
- Mustafa, P. S. (2022). Characteristics of Learners and Their Implications in Learning. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 14(4), 7043–7056. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i4.2751>
- Mustafa, P. S. (2023). *Buku Ajar Pendidikan Jasmani dan Kesehatan untuk Guru Kelas MI/SD*. Ontario. (2005). *Daily Physical Activity in Schools Grades 1-3*. The Ministry of Education.
- Ralphs, J. R., & Benjamin, M. (1994). The joint capsule: structure, composition, ageing and disease. *Journal of Anatomy*, 184 (Pt 3(Pt 3), 503–509. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7928639>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16558670>
- Roberts, T. J., & Konow, N. (2013). How Tendons Buffer Energy Dissipation by Muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 41(4), 186–193. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182a4e6d5>
- Rothrauff, B. B., Yang, G., & Tuan, R. S. (2017). Tissue-specific bioactivity of soluble tendon-derived and cartilage-derived extracellular matrices on adult mesenchymal stem cells. *Stem Cell Research & Therapy*, 8(1), 133. <https://doi.org/10.1186/s13287-017-0580-8>
- Roussouly, P., & Nnadi, C. (2010). Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management. *European Spine Journal*, 19(11), 1824–1836. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1476-9>
- Samson, M., Button, D. C., Chaouachi, A., & Behm, D. G. (2012). Effects of dynamic and static stretching within general and activity specific warm-up protocols. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(2), 279–285. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149201>
- Saputra, F., Hasanah, O., & Sabrian, F. (2015). Perbedaan Tumbuh Kembang Anak Toddler yang Diasuh Orang Tua dengan yang Dititipkan Ditempat Penitipan Anak (TPA). *Jurnal Online Mahasiswa*, 2(2), 1123–1130.
- Shellock, F. G., & Prentice, W. E. (1985). Warming-Up and Stretching for Improved Physical Performance and Prevention of Sports-Related Injuries. *Sports Medicine*, 2(4), 267–278. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502040-00004>
- Silverthorn, D. U. (2013). *Fisiologi Manusia: Sebuah Pendekatan Terintegrasi* (6th ed.). Buku Kedokteran EGC.
- Soejiningsih, & Ranuh, G. (2012). *Tumbuh Kembang Anak*. Buku Kedokteran EGC.

- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Alfabeta.
- Supriyadi, & Wardani, H. E. (2010). *Anatomi Manusia*. Universitas Negeri Malang.
- Tarigan, B. (2011). Optimalisasi Pendidikan Jasmani dan Olahraga Berlandaskan Ilmu Faal Olahraga. *Pidato Pengukuhan Guru Besar Dalam Bidang Pedagogi Olahraga*.
- Thomopoulos, S., Parks, W. C., Rifkin, D. B., & Derwin, K. A. (2015). Mechanisms of tendon injury and repair. *Journal of Orthopaedic Research*, 33(6), 832–839. <https://doi.org/10.1002/jor.22806>
- Tunwattanapong, P., Kongkasuwan, R., & Kuptniratsaikul, V. (2016). The effectiveness of a neck and shoulder stretching exercise program among office workers with neck pain: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 30(1), 64–72. <https://doi.org/10.1177/0269215515575747>
- Vleeming, A., Schuenke, M. D., Masi, A. T., Carreiro, J. E., Danneels, L., & Willard, F. H. (2012). The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications. *Journal of Anatomy*, 221(6), 537–567. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2012.01564.x>
- Weatherholt, A. M., Fuchs, R. K., & Warden, S. J. (2012). Specialized Connective Tissue: Bone, the Structural Framework of the Upper Extremity. *Journal of Hand Therapy*, 25(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2011.08.003>
- Wiaro, G. (2013). *Fisiologi dan Olahraga*. Graha Ilmu.
- Wilson, A., & Lichtwark, G. (2011). The anatomical arrangement of muscle and tendon enhances limb versatility and locomotor performance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1570), 1540–1553. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0361>
- Wirasasmita, R. (2013). *Ilmu Urai Olahraga I - Analisis Kinetik Pada Olahraga*. Alfabeta.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., & McNair, P. (2004). Stretching and Injury Prevention. *Sports Medicine*, 34(7), 443–449. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00003>
- Yang, G., Rothrauff, B. B., & Tuan, R. S. (2013). Tendon and ligament regeneration and repair: Clinical relevance and developmental paradigm. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 99(3), 203–222. <https://doi.org/10.1002/bdrc.21041>