



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomekanik Taekwondo

2.1.1 Definisi atlet

Seorang atlet didefinisikan sebagai individu yang secara teratur mengikuti latihan olahraga terstruktur dan kompetisi resmi dengan tujuan meningkatkan performa fisik dan keterampilan pada cabang olahraga tertentu. Atlet dapat berstatus amatir maupun profesional, dan kegiatan latihannya dilakukan secara konsisten dengan pengawasan pelatih atau organisasi olahraga resmi (European Academy of Paediatrics & European Confederation of Primary Care Paediatricians, 2023). Dalam konteks perkembangan usia, atlet muda (young athlete) adalah remaja berusia sekitar 13–18 tahun yang aktif berpartisipasi dalam program olahraga terorganisir, baik di tingkat sekolah, klub, maupun nasional (Desbrow et al., 2021).

Mereka menjalani latihan yang bertujuan untuk pengembangan performa fisik, teknik, serta kesiapan kompetitif jangka panjang (Jayanthi et al., 2024). Selain aspek fisik, seorang atlet juga ditandai oleh motivasi, disiplin, dan ketahanan psikologis untuk terus berkembang di lingkungan latihan dan kompetisi yang kompetitif (Bartholomew, Lander & Parker, 2022). Penelitian terbaru juga menegaskan bahwa atlet muda seringkali menghadapi tantangan psikososial dan risiko cedera akibat intensitas latihan yang tinggi serta proses spesialisasi cabang olahraga (Hsueh, Chen & Lee, 2025; DiFiori et al., 2020).

Dengan demikian, dalam penelitian ini, atlet muda taekwondo dapat diartikan sebagai individu berusia remaja yang secara aktif dan teratur berlatih serta berkompetisi dalam olahraga taekwondo, baik di tingkat amatir maupun semi-profesional, dengan tujuan meningkatkan performa fisik dan teknik bertanding secara berkelanjutan.

2.1.2 Definisi taekwondo

Taekwondo adalah bentuk seni bela diri tradisional di Korea Selatan dan olahraga populer dengan sekitar 80 juta peserta pelatihan di 206 negara di seluruh dunia (Kazemi dan Pieter, 2004 ; Thomas et al., 2017). Berbeda dengan jenis olahraga lainnya, Taekwondo melibatkan penggunaan kekuatan cepat dari tangan dan kaki untuk menyerang titik terlemah tubuh manusia (Minghelli et al., 2020 ; Zhao et al., 2020). Inilah sebabnya mengapa cedera olahraga yang fatal dapat terjadi selama pelatihan dan kompetisi Taekwondo (Covarrubias et al., 2015). Taekwondo dapat menyebabkan berbagai cedera karena membutuhkan pertemuan agresif dengan lawan (Kazemi et al., 2009 ; Altarriba-Bartes et al., 2014 ; Fortina et al., 2017).

2.1.3 Biomekanik tendangan

Biomekanika adalah ilmu yang mempelajari gerakan tubuh manusia berdasarkan prinsip-prinsip mekanika. Dalam konteks taekwondo, analisis biomekanik dapat membantu kita memahami bagaimana kekuatan tubuh, gaya, dan gerakan bekerja untuk menghasilkan tendangan yang efektif dan kuat.

Tendangan *Dollyo Chagi* atau *Roundhouse Kick* melibatkan tiga fase utama dalam analisis biomekaniknya. Pada fase persiapan, kaki penumpu menstabilkan tubuh dengan lutut sedikit fleksi dan pinggang mulai berotasi. Saat fase eksekusi,

kaki yang digunakan untuk menendang diayunkan dengan kecepatan tinggi, dengan lutut mengalami fleksi lebih dari 90° dan rotasi pinggang serta torso mencapai titik maksimal. Kemudian, pada fase *follow-through*, kaki kembali ke posisi awal secara terkontrol. Parameter utama yang mempengaruhi efektivitas tendangan ini meliputi kecepatan sudut lutut yang berkisar antara $800\text{--}1200^\circ/\text{detik}$ (Kim et al., 2021) serta kecepatan linear kaki yang mencapai $10\text{--}15\text{ m/s}$ (Lee & Park, 2022). Aktivasi otot utama meliputi *gluteus maximus* (60% MVC), *rectus femoris* (85% MVC), dan *biceps femoris* (40% MVC) (Santos et al., 2020). Namun, tendangan ini memiliki risiko cedera, terutama pada lutut akibat *overuse* yang disebabkan oleh repetisi fleksi-ekstensi yang berlebihan, serta pada pinggang akibat rotasi yang tidak terkontrol yang dapat membebani otot inti.

Tendangan *Ap Chagi* atau *Front Kick* juga terdiri dari tiga fase. Pada fase persiapan, kaki penumpu tetap stabil dengan lutut dalam posisi fleksi sekitar 30° dan pinggang dalam posisi netral. Saat fase eksekusi, kaki yang digunakan untuk menendang diluruskan ke depan dengan kecepatan tinggi hingga ekstensi penuh. Fase *follow-through* melibatkan penarikan kembali kaki secara terkontrol agar keseimbangan tetap terjaga. Parameter biomekanik utama mencakup gaya reaksi tanah (Ground Reaction Force – GRF) yang mencapai 2–3 kali berat badan saat eksekusi (Chen et al., 2023). Aktivasi otot dominan pada tendangan ini melibatkan *quadriceps* (90% MVC) dan *tibialis anterior* (70% MVC) (González et al., 2021). Risiko cedera yang sering terjadi adalah hiperekstensi lutut akibat kurangnya kontrol fleksi saat menghentak dan ketidakstabilan pergelangan kaki saat mendarat.

Tendangan *Yeop Chagi* atau *Side Kick* dilakukan dengan tubuh menghadap ke samping pada fase persiapan, dengan kaki penumpu dalam posisi fleksi sekita

45°. Saat fase eksekusi, kaki yang digunakan untuk menendang diangkat secara lateral dengan dorongan dari pinggang, kemudian pada fase follow-through tubuh kembali ke posisi netral. Parameter biomekanik utama yang berperan dalam efektivitas tendangan ini meliputi torsi pinggang yang berkisar antara 120–150 Nm (Zhang et al., 2022). Aktivasi otot dominan melibatkan *gluteus medius* (75% MVC) dan *adductor magnus* (65% MVC) (Hernández et al., 2023). Cedera yang sering terjadi pada tendangan ini mencakup tekanan berlebihan pada sendi sakroiliaka akibat rotasi yang tidak terkontrol serta ketegangan pada ligamen kolateral medial di lutut.

Tendangan *Dwi Chagi* atau *Back Kick* dimulai dengan fase persiapan, di mana tubuh berputar 180° dan kaki penumpu tetap stabil. Pada fase eksekusi, kaki yang digunakan untuk menendang didorong ke belakang dengan kekuatan maksimal, lalu pada fase *follow-through* posisi tubuh dikembalikan dengan cepat untuk menjaga keseimbangan. Kecepatan linear kaki saat tendangan ini mencapai 8–12 m/s (Wang et al., 2023). Aktivasi otot utama melibatkan *erector spinae* (80% MVC) dan *hamstring* (70% MVC) (Silva et al., 2021). Risiko cedera yang umum terjadi adalah tekanan berlebihan pada punggung bawah akibat rotasi yang cepat serta cedera *ligamen cruciatum anterior* (ACL) pada lutut akibat torsi yang tidak terkontrol.

2.2 Anatomi Lutut

Tulang-tulang yang mengartikulasi di lutut berukuran besar dan kompleks. Tulang paha memiliki sedikit kemiringan medial, sedangkan tulang kering hampir vertikal. *Patela* adalah tulang sesamoid tulang terbesar di tubuh yang menempati

bagian anterior lutut. Sendi lutut merupakan salah satu sendi terbesar dan paling kompleks dalam tubuh manusia yang dibentuk oleh artikulasi antara femur, tibia, dan patela. Femur memiliki sedikit kemiringan medial, sedangkan tibia relatif tegak lurus, sementara fibula tidak termasuk dalam komponen utama sendi lutut. Patela, yang merupakan tulang sesamoid terbesar, berfungsi sebagai titik perlekatan distal tendon quadriceps serta melindungi permukaan artikular anterior femur distal (Gray, Lewis, & Parsons, 1918). Permukaan artikulasi utama pada lutut meliputi kondilus lateral dan medial femur dengan tibia, serta hubungan anteroposterior antara patela dan femur. Secara struktur, sendi lutut cenderung lemah, namun stabilitasnya dijaga oleh otot quadriceps femoris, kapsul fibrosa, ligamen, meniskus, serta bursa.

2.3 Nyeri Lutut Pada Atlet

2.3.1 Definisi nyeri lutut

Nyeri lutut merupakan keluhan muskuloskeletal yang umum dialami pada berbagai kelompok usia, baik akibat trauma, degenerasi, inflamasi, maupun kondisi sistemik. Berdasarkan sifatnya, nyeri lutut dapat bersifat akut, yang muncul secara tiba-tiba dan berlangsung singkat, biasanya akibat cedera ligamen, fraktur, atau dislokasi (Bunt, Jonas, & Chang, 2018), maupun kronis yang berlangsung lebih dari tiga bulan dan sering dikaitkan dengan penyakit degeneratif seperti osteoarthritis atau gangguan inflamasi (Cross et al., 2020).

Berdasarkan lokasi, nyeri anterior sering berhubungan dengan *patellofemoral pain syndrome* atau tendinitis patela (Smith et al., 2021), nyeri medial umumnya terkait dengan cedera *meniskus medial* atau cedera MCL (Katz, Arant, & Loeser,

2021), nyeri lateral kerap dikaitkan dengan sindrom *iliotibial band* atau osteoarthritis kompartemen lateral (Hensor et al., 2019), sedangkan nyeri posterior dapat disebabkan oleh kista Baker atau cedera hamstring (Zhang et al., 2020).

Secara etiologi, nyeri lutut dapat digolongkan menjadi traumatik, degeneratif, inflamasi, dan mekanik. Faktor traumatik meliputi cedera akibat olahraga atau aktivitas fisik berat, seperti robekan meniskus atau fraktur (Bunt et al., 2018). Faktor degeneratif utamanya adalah osteoarthritis, yang menjadi penyebab utama nyeri kronis pada populasi lanjut usia (Cross et al., 2020). Faktor inflamasi mencakup kondisi seperti *rheumatoid arthritis* atau *gout* (Katz et al., 2021), sedangkan faktor mekanik sering dikaitkan dengan malalignment lutut dan sindrom patellofemoral (Smith et al., 2021). Pada atlet muda, nyeri lutut lebih sering berkaitan dengan penggunaan berlebihan (*overuse injury*), di mana beban latihan yang berulang dapat menimbulkan tekanan berlebihan pada struktur lutut sehingga memicu peradangan, nyeri, serta keterbatasan fungsi (Lee, Kim, & Park, 2018).

2.3.2 Faktor risiko nyeri lutut pada atlet

Nyeri Lutut biasanya disebabkan oleh penggunaan berlebihan, dengan kata lain, lutut mungkin telah mengalami terlalu banyak atau terlalu sering tekanan tanpa mampu beradaptasi dengan cukup cepat. Jadi lutut tidak lemah; lutut masih dapat menahan beban tubuh Anda dan tidak perlu khawatir jika sesekali terasa nyeri. Penyebab intrinsik, nyeri lutut dapat berupa nyeri rujukan dari patologi tulang belakang panggul atau lumbar. Kondisi panggul yang perlu dipertimbangkan meliputi epifisis kaput femoralis yang tergelincir, penyakit *Legg-Calve-Perthes*, dan fraktur stres leher femoralis; sedangkan kondisi tulang belakang yang perlu

dipertimbangkan meliputi tumor tulang belakang atau sumsum tulang, herniasi diskus, atau stenosis tulang belakang. Nyeri di sekitar sendi lutut juga dapat terjadi pada osteosarkoma, sarkoma Ewing, tumor sinovial, atau osteoid osteoma. Penyebab sistemik nyeri lutut meliputi artritis juvenil kronis, artropati sel sabit, dan leukemia. Fokus utama kami di sini adalah untuk memberikan tinjauan praktis dari cedera akibat penggunaan berlebihan yang dipilih dan signifikan yang terlihat pada atlet muda.

2.4 Latihan Berlebih dan Dampaknya pada Sendi Lutut

2.4.1 Definisi latihan normal

Program latihan pada atlet muda Taekwondo perlu dirancang berdasarkan prinsip periodisasi, durasi, dan intensitas yang sesuai dengan usia perkembangan fisik serta keterampilan teknis. Durasi latihan optimal bagi atlet muda berkisar antara 75–90 menit per sesi dengan frekuensi 3–4 kali per minggu untuk kelompok kompetitif, sedangkan untuk kelompok non-kompetitif atau tahap pengembangan dasar cukup 60–70 menit per sesi dengan frekuensi 1–3 kali per minggu (Kim et al., 2020; Ouergui et al., 2021; Fong et al., 2021; Iida et al., 2022).

Dalam satu mikro-siklus mingguan, sesi pertama difokuskan pada penguasaan teknik dan keseimbangan, diawali dengan pemanasan selama 15 menit berupa jogging ringan, dynamic stretching, dan mobilitas sendi, dilanjutkan latihan teknik dasar seperti tendangan dan kombinasi tangan-kaki selama 20 menit, latihan keseimbangan dan kekuatan inti selama 15 menit, drill kecepatan selama 15 menit, dan diakhiri pendinginan selama 10 menit. Sesi kedua menekankan pada kondisi fisik dan sparring terkontrol, dimulai dengan pemanasan 15 menit, kemudian

latihan kondisi fisik spesifik seperti circuit training dan HIIT selama 25 menit, sparring terkontrol 30 menit dengan format 3×2 menit istirahat 1 menit, dilanjutkan latihan footwork dan kombinasi selama 10 menit, serta pendinginan 10 menit. Sesi

ketiga berfokus pada peningkatan power, reaksi, dan sparring bebas, diawali pemanasan 15 menit, latihan power selama 20 menit (misalnya plyometric kick dan lempar bola medis), latihan reaksi dan timing selama 15 menit, sparring bebas 20 menit dengan 3–4 ronde berdurasi 2 menit, dan pendinginan 5 menit. Pemantauan beban latihan dilakukan dengan metode Session-RPE (*Rating of Perceived Exertion*) yang memudahkan penilaian intensitas subjektif dengan durasi latihan, dan telah terbukti valid pada atlet Taekwondo usia dini untuk mencegah kelelahan berlebih dan cedera overuse (Ouergui et al., 2021; Ouergui et al., 2022).

2.4.2 Definisi latihan *moderate*

Latihan moderat didefinisikan dalam penelitian epidemiologi olahraga remaja sebagai volume latihan mingguan yang berada di rentang sedang, secara operasional sering dikategorikan sebagai >6 hingga ≤15 jam per minggu; kategori ini digunakan karena bukti menunjukkan peningkatan risiko cedera mulai terlihat pada jam latihan menengah dan meningkat lebih tajam di atas ambang 15 jam/minggu (Chan, 2024; Sniffen et al., 2022; Gupta, 2023).

Latihan intensitas moderat dikategorikan sebagai latihan normal dan aman bagi atlet muda, karena berfungsi mempertahankan kebugaran tanpa menyebabkan kelelahan berlebihan. Program latihan dengan intensitas sedang memungkinkan tubuh beradaptasi terhadap stres latihan secara bertahap, meningkatkan efisiensi jantung dan paru, serta mendukung koordinasi neuromuskular yang penting dalam olahraga bela diri seperti taekwondo (Campos *et al.*, 2020). Selain itu, latihan ini berperan

dalam pemulihan aktif setelah latihan intensitas tinggi, sehingga dapat menjaga keseimbangan beban kerja dan mengurangi risiko *overtraining*.

Menurut DiFiori *et al.* (2020), latihan yang berlebihan tanpa pengaturan beban dan waktu pemulihan yang cukup dapat menyebabkan cedera akibat penggunaan berlebih (*overuse injury*) serta kelelahan kronis pada atlet muda. Oleh karena itu, latihan moderat dianggap optimal apabila dilakukan dengan durasi 45– 75 menit per sesi, frekuensi 3–5 kali per minggu, serta diimbangi dengan waktu istirahat dan nutrisi yang cukup. Pendekatan ini mendukung prinsip *load management*, yaitu pengaturan beban latihan agar tetap dalam batas kemampuan adaptasi fisiologis atlet.

2.4.3 Definisi Latihan Berlebih

Latihan berlebih (atau *overtraining*) pada atlet muda mengacu pada beban latihan intensif yang melebihi kapasitas pemulihan tubuh, tanpa jeda istirahat yang cukup dan adaptif (Walker, 2002). Organisasi seperti American Academy of Pediatrics (AAP) dan Boston Children's Hospital merekomendasikan agar jumlah total jam latihan per minggu tidak melebihi usia atlet dalam tahun, misalnya seorang atlet berusia 15 tahun sebaiknya tidak berlatih lebih dari 15 jam per minggu (AAP, 2022; Boston Children's Hospital, 2022).

Selain itu, AAP juga menyarankan agar latihan terbatas pada maksimal 5 hari per minggu, dengan minimal 1 hari penuh tanpa aktivitas terorganisir, serta waktu libur 2–3 bulan per tahun dari kompetisi untuk pemulihan psikologis dan fisik (AAP, 2022). Studi juga menunjukkan bahwa pelatihan berlebihan seperti yang dialami oleh anak yang berlatih lebih dari batas usia per minggu atau selama

5 hari berturut-turut—meningkatkan risiko cedera overuse, khususnya ketika dipadukan dengan pemusatan pada satu cabang olahraga saja (spesialisasi dini) (Journal of Clinical Medicine, 2025). Latihan fisik yang intens dan berulang, terutama pada olahraga seperti taekwondo yang menuntut gerakan eksplosif pada sendi lutut, dapat memicu kondisi yang dikenal sebagai latihan berlebih (*overtraining*). Kondisi ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk cedera pada sendi lutut.

2.4.4 Tanda dan gejala latihan berlebih

Latihan berlebih (*overtraining*) pada atlet, termasuk atlet muda Taekwondo, ditandai oleh sejumlah gejala klinis yang dapat memengaruhi performa maupun kesehatan secara keseluruhan. Gejala utama yang sering dilaporkan adalah nyeri pada sendi lutut yang semakin parah, terutama setelah melakukan aktivitas intensif. Selain itu, atlet juga mengalami kelelahan kronis yang tidak membaik meskipun sudah mendapatkan istirahat cukup, disertai penurunan performa olahraga walaupun intensitas latihan tidak berubah (Jayanthi et al., 2021).

Gangguan tidur, seperti sulit memulai tidur atau sering terbangun di malam hari, juga merupakan manifestasi umum dari latihan berlebih yang dapat memperburuk proses pemulihan tubuh (La Torre et al., 2023). Dari aspek psikologis, atlet dengan latihan berlebih cenderung lebih mudah marah, lekas tersinggung, atau mengalami gejala depresi ringan yang dapat mengganggu motivasi dan konsistensi latihan (Gabbett, 2021). Kombinasi antara gejala fisik dan psikologis ini menjadi indikator penting untuk mendeteksi kondisi *overtraining* lebih dini, sehingga pelatih maupun tenaga medis dapat melakukan intervensi

pencegahan sebelum berkembang menjadi cedera serius atau sindrom kelelahan kronis.

2.4.5 Dampak latihan berlebih pada sendi lutut

Latihan berlebih pada atlet muda Taekwondo dapat menimbulkan berbagai dampak negatif pada sendi lutut akibat akumulasi beban mekanis dan mikrotrauma berulang. Salah satu dampak yang sering terjadi adalah sindrom patellofemoral, ditandai dengan nyeri pada bagian anterior lutut akibat gesekan antara patela dan femur yang berulang (Smith et al., 2021).

Selain itu, tendinitis patela merupakan kondisi yang umum dialami, di mana terjadi peradangan pada tendon patela akibat repetisi gerakan eksplosif, terutama saat melakukan tendangan berintensitas tinggi (Lee, Kim & Park, 2018). Jika berlangsung dalam jangka panjang, overtraining juga dapat meningkatkan risiko osteoarthritis lutut akibat kerusakan progresif pada tulang rawan sendi (Cross et al., 2020).

Dampak lain yang signifikan adalah cedera meniskus, yakni robekan pada bantalan *fibrokartilago* di antara *femur* dan *tibia* yang berfungsi sebagai peredam kejutan, yang dapat menyebabkan nyeri hebat dan gangguan fungsional lutut (Katz, Arant & Loeser, 2021). Kombinasi dari kondisi-kondisi tersebut menunjukkan bahwa latihan berlebih bukan hanya menurunkan performa atlet, tetapi juga berpotensi mengganggu kesehatan lutut dalam jangka panjang jika tidak dikendalikan dengan manajemen beban latihan yang tepat.

2.4.6 Hubungan antara volume dan intensitas latihan dengan nyeri lutut

Volume dan intensitas latihan merupakan dua faktor penting yang sangat memengaruhi kesehatan sendi lutut pada atlet muda Taekwondo. Volume latihan

yang berlebihan, baik dari segi durasi maupun frekuensi, dapat menyebabkan mikrotrauma berulang pada jaringan lunak lutut, seperti tendon dan ligamen, yang pada akhirnya menimbulkan inflamasi dan nyeri kronis (Smith & Johnson, 2020). Menurut Gabbett (2016), hubungan antara beban latihan dan risiko cedera bersifat non-linear. Baik beban yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi sama-sama meningkatkan risiko cedera. Kondisi ini dikenal sebagai *training–injury prevention paradox*, di mana keseimbangan antara durasi, intensitas, dan waktu pemulihan menjadi kunci pencegahan nyeri lutut akibat overuse.

Di sisi lain, intensitas latihan yang tinggi menghasilkan gaya mekanis besar pada sendi lutut sehingga meningkatkan risiko cedera, terutama jika melebihi kapasitas adaptasi jaringan (Lee, Kim & Park, 2018). Interaksi antara volume dan intensitas juga bersifat kompleks, di mana kombinasi keduanya yang sama-sama tinggi secara signifikan meningkatkan kemungkinan cedera (Jones et al., 2021). Meskipun demikian, latihan dengan volume dan intensitas yang tepat justru dapat memperkuat otot-otot sekitar lutut, meningkatkan stabilitas sendi, dan menurunkan risiko cedera. Oleh karena itu, prinsip progresivitas, variasi latihan, serta pengaturan beban yang sesuai dengan usia dan kondisi fisik atlet menjadi kunci dalam pencegahan nyeri lutut (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2023).

2.4.7 Volume latihan

Volume latihan yang berlebihan dapat menimbulkan akumulasi mikrotrauma pada jaringan lunak di sekitar lutut, seperti tendon, ligamen, dan meniskus. Kondisi ini memicu peradangan dan nyeri, terutama pada atlet muda yang melakukan latihan dengan frekuensi tinggi tanpa istirahat yang cukup (Smith & Johnson, 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan volume latihan yang tidak diimbangi dengan pemulihan yang adekuat berhubungan erat dengan timbulnya nyeri lutut kronis pada atlet remaja (Lee, Kim & Park, 2018).

2.4.8 Interaksi antara Volume dan Intensitas

Hubungan antara volume dan intensitas latihan bersifat sinergis, di mana kombinasi keduanya yang sama-sama tinggi dapat meningkatkan risiko cedera lutut secara signifikan. Atlet yang menjalani latihan dengan frekuensi tinggi sekaligus intensitas berat lebih rentan mengalami sindrom overuse dibandingkan dengan mereka yang hanya meningkatkan salah satu faktor saja (Jones et al., 2021). Sebaliknya, pengaturan volume dan intensitas yang seimbang justru dapat meningkatkan kekuatan otot, stabilitas lutut, serta ketahanan fisik tanpa menambah risiko cedera (Gabbett, 2021).

2.4.9 Mekanisme cedera

Cedera akibat latihan berlebih dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, antara lain mikrotrauma kumulatif yang mengganggu integritas jaringan, respon inflamasi yang menimbulkan nyeri dan pembengkakan, kelelahan otot yang menyebabkan gangguan koordinasi gerakan, serta ketidakseimbangan otot yang memicu distribusi beban tidak merata pada lutut (Smith & Johnson, 2020; Lee, Kim & Park, 2018; Jones et al., 2021).

2.4.10 Pencegahan cedera

Pencegahan nyeri lutut akibat latihan berlebih dapat dilakukan dengan menerapkan prinsip progresivitas, yaitu meningkatkan volume dan intensitas latihan secara bertahap agar tubuh memiliki waktu beradaptasi (American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2023).

Selain itu, variasi latihan perlu dilakukan untuk mencegah adaptasi berlebihan pada struktur tertentu, serta memberikan waktu istirahat yang cukup untuk proses pemulihan. Pemanasan dan pendinginan yang tepat, serta latihan penguatan otot sekitar lutut, juga terbukti efektif dalam menjaga stabilitas sendi dan menurunkan risiko cedera (Gabbett, 2021).

2.5 Intensitas Olahraga

Intensitas olahraga merupakan tingkat usaha yang dikeluarkan individu selama beraktivitas fisik, dan menjadi salah satu komponen utama dalam merancang program latihan. Intensitas dapat diukur secara objektif melalui parameter fisiologis seperti denyut jantung, konsumsi oksigen (VO_{2max}), serta kadar asam laktat, maupun secara subjektif melalui skala Borg Rating of Perceived Exertion (RPE) (Garber et al., 2011).

Pada atlet muda, pengaturan intensitas latihan sangat penting karena intensitas yang terlalu tinggi tanpa diimbangi dengan pemulihan dapat menimbulkan kelelahan berlebih, penurunan performa, dan meningkatkan risiko cedera, terutama pada sendi lutut (Lee, Kim & Park, 2018). Sebaliknya, intensitas latihan yang sesuai terbukti mampu meningkatkan kapasitas kardiovaskular,

kekuatan otot, serta daya tahan fisik tanpa menambah risiko nyeri muskuloskeletal (Jones et al., 2021). American College of Sports Medicine (ACSM) merekomendasikan intensitas latihan aerobik moderat sekitar 64–76% dari denyut jantung maksimum, atau intensitas tinggi sebesar 77–95% dari denyut jantung maksimum, dengan durasi 30–60 menit per sesi untuk memperoleh manfaat kesehatan optimal (American College of Sports Medicine, 2018). Dengan

demikian, pemahaman dan penerapan prinsip intensitas latihan yang tepat menjadi kunci dalam menyeimbangkan manfaat olahraga dengan risiko cedera, khususnya bagi atlet muda yang sedang berada pada fase pertumbuhan dan adaptasi fisik.

1.6 Faktor Risiko Lain yang Berhubungan dengan Nyeri Lutut

Intensitas olahraga memiliki hubungan yang erat dengan timbulnya nyeri lutut, khususnya pada atlet muda Taekwondo yang sering melakukan gerakan eksplosif berulang. Intensitas latihan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan mekanis pada sendi lutut, terutama pada struktur seperti meniskus, ligamen, dan tendon patela, sehingga berisiko menimbulkan cedera akibat penggunaan berlebih (*overuse injury*) (Jones et al., 2021).

Selain itu, tingginya intensitas juga mempercepat kelelahan otot quadriceps dan hamstring, yang berperan penting dalam menjaga stabilitas lutut. Ketika otot mengalami kelelahan, kemampuan proteksi sendi berkurang sehingga risiko nyeri dan cedera meningkat (Lee, Kim & Park, 2018). Penelitian lain menunjukkan bahwa latihan intensitas tinggi secara berulang tanpa pemulihan memadai berhubungan dengan meningkatnya prevalensi patellofemoral pain syndrome dan tendinitis patela pada atlet muda (Smith et al., 2021).

Namun demikian, latihan intensitas sedang justru memberikan manfaat protektif dengan memperkuat otot sekitar lutut, meningkatkan fleksibilitas, serta memperbaiki pola gerak yang dapat menurunkan risiko cedera (American College of Sports Medicine, 2018). Oleh karena itu, intensitas olahraga yang optimal perlu disesuaikan dengan usia, tingkat kebugaran, serta kondisi biomekanis individu agar manfaat latihan dapat diperoleh tanpa meningkatkan risiko nyeri lutut. Prinsip

periodisasi latihan dengan mengatur intensitas tinggi dan rendah secara bergantian terbukti efektif dalam meminimalkan risiko cedera akibat overtraining (Gabbett, 2021).

