



***Deep Learning* dan *Sport Massage*: Inovasi Baru Dalam Menurunkan Risiko Cedera Dan Meningkatkan Kesejahteraan Psikologis Siswa SMA**

Tito Pangesti Adji ✉, Universitas Safin Pati

Naela Khusna Faela Shufa, Universitas Safin Pati

✉ tito_pangesti@usp.ac.id

Abstrak: Tingginya angka cedera olahraga pada siswa SMA berdampak pada fisik dan kesejahteraan psikologis mereka. Penelitian ini mengembangkan model pembelajaran adaptif berbasis deep learning untuk deteksi risiko cedera yang dikombinasikan dengan intervensi sport massage sebagai strategi preventif dan rehabilitatif dalam pendidikan jasmani. Menggunakan pendekatan *mixed-method explanatory sequential*, kelompok eksperimen menerima intervensi terpadu, sementara kelompok kontrol menerima pembelajaran konvensional, penelitian ini melibatkan 60 siswa SMA yang dibagi dalam kelompok eksperimen dan kontrol. Pengumpulan data dilakukan melalui *Convolutional Neural Network* (CNN), pelaksanaan massage rutin, dan skala psikologis DASS-21, dan log observasi selama enam minggu. Hasil menunjukkan penurunan risiko cedera pada kelompok eksperimen dari 70% menjadi 23% ($p = 0,004$). Skor DASS-21 untuk kecemasan turun dari 16,2 menjadi 9,4 dan stres dari 14,8 menjadi 8,2 ($p < 0,01$), disertai peningkatan skor Mood Inventory dari 2,7 ke 4,3. Penurunan risiko cedera sebesar 47% pada kelompok eksperimen menegaskan efektivitas sinergi dua metode ini dalam konteks pembelajaran pendidikan jasmani berbasis data. Kelompok kontrol tidak menunjukkan perbaikan signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa kombinasi teknologi dan terapi manual mampu meningkatkan kesadaran motorik dan regulasi emosional siswa secara holistik. Meskipun efektif, pendekatan ini menghadirkan tantangan etis seperti privasi data dan protokol sentuhan aman.

Kata kunci: *deep learning*, *sport massage*, cedera olahraga, kesejahteraan psikologis, pendidikan jasmani, siswa SMA



PENDAHULUAN

Cedera olahraga pada remaja, khususnya siswa SMA (15–18 tahun), telah diidentifikasi sebagai isu kesehatan masyarakat global yang mendapat perhatian luas dari berbagai lembaga riset internasional. Studi menunjukkan bahwa cedera pada atlet pelajar SMA masih sangat tinggi, terutama cedera kepala seperti gegar otak, yang secara global menimbulkan kekhawatiran atas dampak jangka panjang terhadap kesehatan mental dan performa akademik siswa. Misalnya, (Wingerson et al., 2025) dalam analisis nasional AS menunjukkan bahwa meskipun riwayat gegar otak tidak secara langsung meningkatkan risiko depresi, tingkat aktivitas fisik rendah serta penggunaan zat justru berkontribusi signifikan terhadap gejala depresi di kalangan siswa SMA (Wingerson et al., 2025). Sementara itu, intervensi berbasis psikologi positif yang diterapkan dalam kelas pendidikan jasmani terbukti dapat menurunkan tingkat stres dan depresi siswa secara signifikan, sebagaimana ditunjukkan dalam studi CEDARS oleh Kamsickas et al. (2024) (Kamsickas et al., 2024). Permasalahan psikologis pasca-cedera pada remaja, termasuk stres berat dan bahkan pikiran bunuh diri, juga tercermin dalam penelitian lain yang memanfaatkan pembelajaran mesin untuk memprediksi perilaku melukai diri sendiri di kalangan pelajar, dengan menempatkan kecemasan dan depresi sebagai prediktor utama (Jiang et al., 2024). Oleh karena itu, kebutuhan mendesak untuk pendekatan inovatif sangat jelas. Dalam hal ini, penggunaan deep learning telah diteliti sebagai sarana efektif untuk memprediksi cedera olahraga dengan akurasi tinggi. Studi oleh Xue (2025) menunjukkan bahwa model BiLSTM–ResNet dapat memprediksi risiko cedera berdasarkan data biomekanik secara real-time dengan tingkat akurasi lebih dari 95% (Xue, 2025). Studi serupa di menunjukkan efektivitas model machine learning dalam memetakan faktor risiko cedera sendi pada atlet pelajar, yang mencakup kelelahan, riwayat cedera, dan beban latihan (Min et al., 2024). Namun, meskipun teknologi prediktif berkembang pesat, pendekatan preventif dan rehabilitatif seperti sport massage masih relatif jarang dibahas secara ilmiah dalam konteks sekolah menengah. Oleh sebab itu, riset ini mengusulkan sinergi antara kecerdasan buatan dan teknik terapi olahraga sebagai solusi interdisipliner yang belum banyak dieksplorasi dalam pendidikan jasmani tingkat SMA.

Tinjauan literatur terbaru menunjukkan bahwa prevalensi cedera olahraga pada remaja masih tergolong tinggi dan multikausal. Menurut (Yin et al., 2025), model penilaian risiko cedera dalam pelatihan olahraga berbasis analisis jaringan kompleks menunjukkan bahwa remaja memiliki kerentanan tinggi terhadap kelelahan otot, stres sendi, dan respon jaringan lunak, dengan tingkat akurasi prediksi cedera mencapai AUC-ROC 0,928, terutama pada area pergelangan kaki dan punggung bawah yang sering mengalami strain biomekanik. Lebih lanjut, (Bae, 2024) dalam ulasan sistematiknya menegaskan bahwa faktor biopsikososial seperti neurotisme, riwayat cedera sebelumnya, tekanan sosial tim, dan kualitas tidur memiliki kontribusi signifikan terhadap insiden cedera dan keberhasilan rehabilitasi, menandakan bahwa pendekatan multidimensi sangat dibutuhkan dalam pencegahan cedera pada remaja. Sementara itu, dari sisi psikologis, cedera pada remaja dapat memicu reaksi emosional negatif seperti penurunan harga diri, kecemasan performa, dan krisis identitas atletik, sebagaimana diuraikan oleh (Cahalan et al., 2025) yang menemukan bahwa screening psikososial belum menjadi protokol standar dalam praktik pencegahan cedera, padahal memiliki potensi besar dalam mengidentifikasi risiko tersembunyi pada individu berisiko tinggi. Terkait intervensi, sport massage telah terbukti secara fisiologis mampu menurunkan kadar kortisol hingga 31%, meningkatkan aliran darah otak, dan merangsang produksi serotonin serta dopamine dua neurotransmitter utama yang terkait dengan relaksasi dan pemulihan emosi (Field et al., 2005). Temuan ini diperkuat oleh studi klinis terbaru yang menunjukkan bahwa pengaruh somatik dari stimulasi pijatan mampu menormalkan aktivitas sistem saraf otonom dan meningkatkan fleksibilitas kognitif pada kelompok usia remaja (Kerautret et al., 2021). Sayangnya, penerapan sport massage dalam konteks pendidikan jasmani

sekolah masih belum banyak dieksplorasi secara ilmiah, terutama dalam kaitannya dengan dukungan pemulihan psikologis jangka pendek pasca-latihan. Di sisi lain, teknologi deep learning berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) telah mencapai performa prediksi tinggi untuk cedera pada populasi atlet dewasa, namun belum terimplementasi secara luas dalam lingkungan pendidikan jasmani (Xue, 2025). Integrasi CNN untuk analisis video postural pada siswa SMA dapat memperkuat pencegahan cedera berbasis data dan mempercepat intervensi korektif berbasis visualisasi gerak yang edukatif (Wang & Bai, 2025). Terdapat urgensi untuk mengembangkan pendekatan gabungan yang mengintegrasikan prediksi cedera berbasis teknologi dan intervensi manual terapeutik berbasis empati manusia, guna mendukung pemulihan menyeluruh baik secara fisik maupun psikoemosional pada siswa usia remaja dalam ekosistem pendidikan. Sebagian besar penelitian terdahulu membahas topik cedera olahraga secara sektoral, tanpa pendekatan integratif yang menyeluruh. Di satu sisi, studi-studi psikologi olahraga seperti yang dilakukan menyoroti pentingnya dukungan psikologis dalam olahraga anak dan remaja, termasuk dalam fase pasca-cedera yang sering memicu kecemasan, penurunan motivasi, hingga gangguan identitas atletik (CHEN & MOK, 2024). Pendekatan psikologis dalam konteks olahraga masih dominan berfokus pada pelatihan mental atau dukungan sosial, tanpa melibatkan teknologi pendukung berbasis data untuk evaluasi risiko gerak atau pemulihan emosional sistemik (Zubko et al., 2025). Sementara itu, efektivitas sport massage terhadap pemulihan stres telah dibuktikan dalam ranah klinis maupun pendidikan tinggi (Efda & Ambardini, 2024). Studi menunjukkan bahwa pelatihan keterampilan pijat olahraga pada mahasiswa pendidikan jasmani bukan hanya memberikan manfaat fisiologis, tetapi juga membangun kesadaran tubuh, empati somatik, dan peluang pengembangan keterampilan kerja yang berdampak pada masyarakat luas (CHEN & MOK, 2024). Namun, riset yang mengaitkan sport massage dengan modul pembelajaran PJOK yang berbasis teknologi dan psikologi perkembangan remaja masih sangat jarang ditemukan. Dengan demikian, pendekatan integratif yang menggabungkan teknologi deep learning, intervensi manual seperti sport massage, dan penguatan psikologis remaja dalam satu kerangka edukatif masih merupakan celah ilmiah yang belum tergarap optimal. Transformasi pembelajaran PJOK berbasis teknologi dan biopsikososial sangat mendesak dikembangkan untuk menciptakan kurikulum jasmani yang tidak hanya adaptif terhadap era digital, tetapi juga berakar kuat pada nilai kesehatan mental dan pemulihan tubuh yang humanistik.

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dipaparkan, tampak jelas adanya celah riset yang signifikan dalam integrasi teknologi dan pendekatan terapeutik di ranah pendidikan jasmani, khususnya pada populasi remaja. Pertama, belum ditemukan penelitian yang secara simultan mengombinasikan deep learning (DL) untuk prediksi cedera biomekanik dengan modul sport massage dalam satu sistem pembelajaran yang bersifat adaptif. Mayoritas penelitian tentang DL masih berfokus pada atlet profesional atau sistem klinis, tanpa diterjemahkan ke dalam kerangka edukatif yang aplikatif di lingkungan sekolah (Dindorf et al., 2023). Padahal, dengan kemajuan teknologi seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) dan real-time movement tracking, intervensi berbasis AI kini sangat memungkinkan diterapkan secara preventif dalam kurikulum PJOK. Kedua, terbatasnya penelitian longitudinal yang menilai efek jangka menengah hingga panjang dari integrasi intervensi teknologi dan terapi manual menjadi kendala dalam memahami stabilitas dan keberlanjutan manfaat dari pendekatan ini. Studi yang ada cenderung bersifat jangka pendek dan evaluatif dalam desain eksperimental sederhana. Hal ini menyulitkan para pendidik dan pengambil kebijakan untuk melihat potensi holistik dari sinergi antara teknologi preskriptif dan pendekatan relaksatif dalam mengurangi cedera dan menstabilkan kondisi psikologis siswa selama siklus pembelajaran jasmani (Jones et al., 2025). Ketiga, kebutuhan akan model intervensi edukatif-terapeutik yang bersifat terpadu dalam lingkungan sekolah masih jauh dari tercukupi. Selama ini, pemisahan peran guru, konselor, dan terapis menyebabkan fragmentasi penanganan cedera maupun isu kesejahteraan psikologis pada siswa. Konteks pendidikan jasmani sangat

potensial menjadi media integratif yang menggabungkan deteksi risiko, intervensi preventif, serta pemulihan psikologis secara bersamaan dalam satu kerangka pembelajaran yang reflektif dan berbasis data (Martín-Rodríguez et al., 2024). Oleh karena itu, desain penelitian yang menghadirkan kerangka kerja adaptif menggabungkan teknologi cerdas dan pendekatan terapeutik somatik dalam lingkungan pembelajaran merupakan inovasi yang tidak hanya orisinal tetapi juga relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21.

Penelitian ini mengusulkan sebuah inovasi edukatif berupa “Sistem Pembelajaran Adaptif Berbasis Deep Learning dan Sport Massage untuk Siswa SMA”, yang bertujuan menurunkan risiko cedera biomekanik sekaligus meningkatkan kesejahteraan psikologis siswa dalam konteks pendidikan jasmani. Gagasan ini tidak hanya bersifat aplikatif, tetapi juga berakar kuat pada teori-teori ilmiah lintas disiplin. Pertama, pendekatan sport massage dalam sistem ini didukung oleh Gate Control Theory dari Melzack dan Wall, yang menjelaskan bahwa rangsangan tekanan non-nosiseptif dari pijatan dapat “menutup gerbang” saraf pada sumsum tulang belakang, sehingga menghambat transmisi sinyal nyeri ke otak. Artinya, melalui pijatan terstruktur, siswa tidak hanya merasakan relaksasi tetapi juga mengalami penurunan nyata terhadap rasa nyeri otot akibat aktivitas jasmani yang intens. Kedua, dari perspektif neuropsikologis, intervensi massage diyakini memicu peningkatan kadar serotonin dan dopamin, serta penurunan hormon kortisol hormon utama pemicu stres. Proses ini berkontribusi pada regulasi suasana hati dan peningkatan konektivitas neuronal pada area limbik, yang mendasari teori Neuroplasticity & Mood Regulation. Stimulasi taktil berulang yang diberikan melalui massage diyakini dapat mengoptimalkan adaptasi saraf dan memperbaiki respons emosional terhadap tekanan lingkungan sekolah, termasuk tekanan akademik dan sosial yang lazim dialami remaja. Ketiga, pada aspek teknologi gerak, sistem ini menggunakan pendekatan biomekanik digital berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN). Model deep learning ini memiliki kemampuan tinggi dalam mengenali pola-pola gerakan tubuh yang berisiko cedera berdasarkan input video siswa saat melakukan aktivitas jasmani. CNN mengolah data visual postural dan mengidentifikasi anomali dalam biomekanika tubuh, seperti ketidakseimbangan distribusi berat, rotasi sendi abnormal, atau kesalahan gerak repetitif yang tak disadari siswa. Hasil analisis ini kemudian dapat disajikan dalam bentuk umpan balik visual yang dapat dipahami oleh siswa dan guru untuk koreksi mandiri secara berkelanjutan. Dengan demikian, pendekatan ini menyatukan dua strategi intervensi yang saling melengkapi massage sebagai praktik terapeutik manual yang bersifat kuratif dan relaksatif, serta CNN sebagai teknologi preskriptif yang bersifat preventif dan edukatif. Keduanya diintegrasikan dalam kerangka sistem pembelajaran adaptif yang sesuai dengan konteks sekolah, dapat dikustomisasi untuk kebutuhan tiap individu, dan bersifat scalable dalam implementasinya. Model ini sekaligus menjawab kebutuhan pendidikan jasmani modern yang lebih ilmiah, personal, dan holistik dalam mendukung kesehatan fisik dan mental siswa.

Penelitian ini dirancang dengan tujuan yang spesifik, terukur, dan berbasis kebutuhan riil pendidikan jasmani di tingkat sekolah menengah atas. Tujuan utama dari studi ini adalah merancang dan menerapkan sistem deep learning berbasis Convolutional Neural Network (CNN) yang mampu melakukan monitoring postur secara real-time dan memprediksi risiko cedera siswa selama aktivitas olahraga. Sistem ini tidak hanya bersifat pasif sebagai alat pengukur, melainkan aktif memberikan umpan balik korektif terhadap pola gerak yang teridentifikasi sebagai berisiko, sehingga mendukung praktik pembelajaran adaptif yang berbasis data biomekanik. Melalui pengolahan citra video dan algoritma klasifikasi gerakan, sistem ini diharapkan mampu mendeteksi ketidakseimbangan gerak, beban berlebih pada sendi, hingga pola repetitif yang berpotensi memicu cedera. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas kombinasi sistem deep learning dan sport massage terhadap penurunan frekuensi dan tingkat keparahan cedera pada siswa SMA, serta pengaruhnya terhadap kesejahteraan psikologis. Indikator kesejahteraan yang diukur meliputi penurunan skor kecemasan dan depresi, serta

peningkatan suasana hati (mood), motivasi, dan kepercayaan diri dalam berpartisipasi pada aktivitas jasmani. Melalui pendekatan ini, diharapkan tercipta model intervensi edukatif yang tidak hanya meningkatkan performa fisik siswa tetapi juga mendukung ketahanan emosional dan keseimbangan mental mereka dalam konteks pembelajaran olahraga di sekolah.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed-method explanatory sequential, yakni pendekatan gabungan antara metode kuantitatif dan kualitatif yang dilaksanakan secara berurutan. Dimulai dengan pengumpulan data kuantitatif untuk mengukur variabel cedera dan kesejahteraan psikologis, kemudian dilanjutkan dengan penggalian data kualitatif guna memahami lebih dalam persepsi siswa terhadap intervensi yang dilakukan. Desain ini dipilih agar analisis dapat mencerminkan baik data objektif maupun pengalaman subjektif siswa selama proses pembelajaran.

Penelitian dilaksanakan di dua Sekolah Menengah Atas, sekolah pertama di Kabupaten Pati dan sekolah kedua di Kabupaten Kudus yang sama-sama memiliki program ekstrakurikuler olahraga aktif dan kurikulum pendidikan jasmani berbasis keterampilan. Subjek penelitian adalah siswa kelas XI dan XII yang aktif mengikuti kegiatan olahraga sekolah minimal tiga kali dalam seminggu. Sebanyak 60 siswa dipilih menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan kriteria khusus, yaitu: (1) memiliki riwayat cedera ringan hingga sedang selama 6 bulan terakhir, (2) bersedia mengikuti seluruh tahapan intervensi, dan (3) sehat secara fisik untuk menjalani kegiatan massage. Sampel dibagi menjadi dua kelompok secara acak, yaitu kelompok eksperimen ($n=30$) yang menerima intervensi pembelajaran berbasis deep learning dan sport massage, dan kelompok kontrol ($n=30$) yang hanya mengikuti aktivitas olahraga reguler tanpa tambahan intervensi.

Dalam pelaksanaan penelitian, digunakan berbagai alat dan bahan yang disesuaikan dengan tujuan intervensi. Model Convolutional Neural Network (CNN) yang dibangun menggunakan pustaka Keras Tensor Flow pada platform Python digunakan untuk menganalisis video gerakan siswa saat latihan fisik. Sistem ini mendeteksi risiko cedera dengan mengidentifikasi anomali postur pada lutut, pergelangan kaki, dan punggung. Untuk memastikan akurasi hasil, model dikalibrasi menggunakan dataset postural Human3.6M dan perangkat OpenPose untuk pemetaan gerakan. Selain itu, untuk mengukur dampak psikologis digunakan dua instrumen utama: skala DASS-21 untuk menilai tingkat depresi, kecemasan, dan stres; serta Mood Inventory Scale yang mengukur dinamika emosi siswa setiap minggu. Sementara itu, intervensi massage disampaikan melalui modul pembelajaran yang mencakup teknik dasar seperti effleurage, petrissage, dan friction. Modul ini disusun berdasarkan literatur sport massage dan diajarkan melalui video serta praktik langsung sebanyak dua sesi per minggu selama enam minggu.

Prosedur penelitian dilakukan dalam tiga tahap utama. Tahap pertama adalah pra-intervensi, di mana siswa menjalani tes awal DASS-21 dan mood inventory serta direkam gerakannya saat latihan untuk dianalisis oleh CNN. Pada tahap intervensi, kelompok eksperimen menjalani sesi massage selama 20 menit pasca-olahraga yang dilakukan oleh fasilitator terlatih, sambil dipantau perkembangan biomekanik gerakannya tiap minggu. Tahap ketiga adalah pasca-intervensi, di mana dilakukan pengukuran ulang pada seluruh indikator. Untuk menjamin keabsahan data, hasil analisis CNN dikalibrasi ulang dengan uji silang terhadap masseur bersertifikat, dan rekaman video dievaluasi secara kualitatif oleh dua pengamat independen. Reliabilitas skala psikologi diuji menggunakan Cronbach's Alpha, dengan nilai minimal yang diterima adalah $>0,85$.

Sebagai dasar teoritis dan penyusunan diskusi, seleksi literatur dilakukan secara sistematis menggunakan protokol PRISMA. Pencarian artikel dilakukan melalui basis data ilmiah seperti PubMed, Scopus, Google Scholar, dan ResearchGate. Kata kunci yang digunakan antara lain: ("sport massage" OR "massage therapy") AND ("injury prevention" OR "recovery") AND

(“deep learning” OR “machine learning”) AND (“psychological well-being” OR “mental health”) AND (“high school students” OR “adolescents”). Artikel yang diseleksi adalah publikasi 2013–2024 dari jurnal terindeks Q1–Q3 dan melibatkan remaja usia 15–18 tahun. Studi berbasis hewan, non-peer-reviewed, atau dengan populasi di luar usia tersebut dikeluarkan dari kajian.

Untuk menyusun pertanyaan riset dan menentukan strategi intervensi, digunakan pendekatan PECOT framework (Problem–Exposure–Control–Outcome–Time). Populasi yang diteliti adalah siswa SMA yang berisiko cedera. Eksposur atau implementasi yang diberikan adalah program deep learning untuk prediksi cedera dan penerapan sport massage sebagai intervensi. Kelompok kontrol tidak menerima perlakuan tambahan. Hasil yang diukur adalah tingkat cedera dan kesejahteraan psikologis, sementara waktu pelaksanaan intervensi adalah selama 6 minggu. Dengan struktur ini, metode penelitian yang dirancang tidak hanya komprehensif dan terukur, tetapi juga dapat direplikasi oleh peneliti lain dalam konteks yang serupa. Seluruh alat, instrumen, protokol pengumpulan data, dan validasi dirancang sedemikian rupa agar transparan dan akuntabel dalam menjawab tujuan riset.

HASIL PENELITIAN

Setelah 6 minggu pelaksanaan intervensi, ditemukan perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dalam hal risiko cedera dan indikator kesejahteraan psikologis. Hasil ini dikumpulkan melalui tiga sumber utama data: (1) analisis deep learning untuk deteksi cedera, (2) pengukuran psikologis melalui DASS-21 dan Mood Inventory, serta (3) observasi kualitas gerakan dan wawancara terbuka.

Pada tahap awal (pra-intervensi), hasil analisis deep learning menunjukkan bahwa sebanyak 21 dari 30 siswa (70%) di kelompok eksperimen memiliki postur latihan yang termasuk dalam kategori “berisiko tinggi cedera”, khususnya pada bagian lutut (61.9%), pergelangan kaki (33.3%), dan punggung bawah (23%). Data tersebut tersaji pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Pra-Intervensi Kelompok Eksperimen

Lokasi Cedera	Jumlah Siswa	Persentase (%) dari total (n=21)	Persentase (%) dari total (n=30)
Lutut	13	61.9%	43.3%
Pergelangan Kaki	7	33.3%	23.3%
Punggung Bawah	5	23.8%	16.7%

Pada kelompok kontrol tidak menjalani analisis biomekanik dengan *deep learning*, pengamat melakukan penilaian melalui rekaman latihan (observasi konvensional). Berdasarkan pengamatan tersebut, distribusi potensi lokasi cedera pada 20 siswa berisiko tinggi yang tersaji pada **Tabel 2** sebagai berikut:

Tabel 2. Pra-Intervensi Kelompok Kontrol

Lokasi Cedera	Jumlah Siswa	Persentase (%) dari total (n=20)	Persentase (%) dari total (n=30)
Lutut	12	60%	40%
Pergelangan Kaki	5	25%	16.7%
Punggung Bawah	3	15%	10%

Model CNN menandai adanya ketidakseimbangan distribusi berat badan saat mendarat, sudut fleksi lutut yang tidak stabil, dan rotasi panggul yang tidak sinkron. Di kelompok kontrol,

ditemukan proporsi serupa, yakni 66.7% siswa mengalami pola gerakan yang dinilai berisiko tinggi, berdasarkan rekaman latihan mingguan. Data komparasi antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol tersaji pada **Tabel 3** sebagai berikut:

Tabel 3. Komparasi Pra-Intervensi Antara Kelompok Eksperimen dan Kelompok Kontrol

Aspek	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol
Jumlah siswa	30	30
Risiko cedera tinggi (%)	70% (21 siswa)	66.7% (20 siswa)
Risiko cedera rendah (%)	30% (9 siswa)	33.3% (10 siswa)
Cedera dominan	Lutut (43.3%)	Lutut (40%)
Alat deteksi	CNN + OpenPose	Observasi manual
Detail biomekanik	Ada	Tidak tersedia

Setelah 6 minggu pelatihan, kelompok eksperimen menunjukkan penurunan signifikan dalam risiko biomekanik cedera. Berdasarkan evaluasi ulang CNN pada minggu ke-7, hanya 7 siswa (23%) yang masih masuk dalam kategori risiko tinggi penurunan sebesar 47% dibandingkan data awal. Perbaikan paling mencolok terjadi pada segmen pergelangan kaki dan lutut, seiring dengan peningkatan stabilitas otot pasca-sesi massage yang tersaji pada **Tabel 4** sebagai berikut:

Tabel 4. Data Kelompok Eksperimen (Pasca-Intervensi)

Lokasi Cedera	Pra-Intervensi	Pasca-Intervensi	Perubahan (%)
Lutut	13 siswa (43.3%)	5 siswa (16.7%)	Turun 26.6%
Pergelangan kaki	7 siswa (23.3%)	2 siswa (6.7%)	Turun 16.6%
Punggung bawah	5 siswa (16.7%)	3 siswa (10%)	Turun 6.7%

Sebaliknya, pada kelompok kontrol, meski mengalami sedikit peningkatan kesadaran postural, sebanyak 20 siswa (66,7%) masih menunjukkan pola gerakan yang berisiko, dengan hanya 1 siswa yang pindah kategori menjadi “risiko rendah” yang tersaji pada **Tabel 5** sebagai berikut:

Tabel 5. Data Kelompok Kontrol (Pasca-Intervensi)

Lokasi Cedera	Pra-Intervensi	Pasca-Intervensi	Perubahan (%)
Lutut	12 siswa (40%)	11 siswa (36.7%)	Turun 3.3%
Pergelangan kaki	5 siswa (16.7%)	5 siswa (16.7%)	Tidak berubah
Punggung bawah	3 siswa (10%)	3 siswa (10%)	Tidak berubah

Data komparasi antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pasca intervensi tersaji pada **Tabel 6** sebagai berikut:

Tabel 6. Komparasi Antara Kelompok Eksperimen dan Kelompok Kontrol Pasca Intervensi

Indikator	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol
-----------	---------------------	------------------

Risiko tinggi pra-intervensi	21 siswa (70%)	20 siswa (66.7%)
Risiko tinggi pasca-intervensi	7 siswa (23%)	19 siswa (63.3%)
Penurunan absolut (%)	47%	3.3%
Perbaikan lutut	26.6%	3.3%
Perbaikan pergelangan kaki	16.6%	0%
Perbaikan punggung bawah	6.7%	0%
Intervensi	CNN + Sport Massage	Latihan reguler
Metode evaluasi	AI-based Biomechanic Model	Observasi manual

Dari data **Tabel 6** tersebut efektivitas intervensi pada kelompok eksperimen sangat tinggi, terlihat dari penurunan yang signifikan pada semua lokasi cedera, terutama lutut dan pergelangan kaki. CNN memungkinkan deteksi presisi dan visualisasi koreksi postural, sedangkan sport massage membantu relaksasi otot dan pemulihan jaringan lunak, sehingga keduanya bersinergi untuk menurunkan risiko. Kelompok kontrol hampir tidak mengalami perubahan yang berarti, menegaskan bahwa latihan reguler saja tidak cukup tanpa adanya intervensi tambahan berbasis teknologi atau terapi manual. Perbedaan penurunan risiko cedera antar kelompok mencapai 43.7%, yang merupakan bukti kuat efektivitas model intervensi yang digunakan.

Dari aspek psikologis, hasil kuesioner DASS-21 menunjukkan bahwa skor rata-rata kecemasan pada kelompok eksperimen turun dari 16,2 (kategori sedang) menjadi 9,4 (kategori ringan), sementara skor stres turun dari 14,8 menjadi 8,2. Penurunan ini sejalan dengan peningkatan skor pada Mood Inventory, di mana skor positif meningkat dari rata-rata 2,7 menjadi 4,3 dari skala maksimal 5. Secara statistik, uji t berpasangan menunjukkan signifikansi ($p < 0,01$) pada semua variabel psikologis yang tersaji pada **Tabel 7** sebagai berikut:

Tabel 7. Data Rata-Rata Skor Psikologis: Pra Vs. Pasca Intervensi Kelompok Eksperimen (N=30)

Variabel	Pra-Intervensi	Pasca-Intervensi	Δ (Selisih)	Kategori Sebelum	Kategori Sesudah	Signifikansi (p)
Kecemasan (DASS-21)	16,2	9,4	-6,8	Sedang	Ringan	$< 0,01$ (signifikan)
Stres (DASS-21)	14,8	8,2	-6,6	Sedang	Ringan	$< 0,01$ (signifikan)
Mood Inventory	2,7 (skala 1-5)	4,3	+1,6	Rendah	Tinggi	$< 0,01$ (signifikan)

Pada kelompok eksperimen penurunan skor DASS-21 menunjukkan pengurangan gejala psikologis negatif, sementara peningkatan skor mood mencerminkan kondisi emosi yang lebih stabil dan positif. Semua hasil signifikan secara statistik berdasarkan uji *paired t-test*.

Pada kelompok kontrol, perubahan relatif kecil skor kecemasan turun dari 15,8 menjadi 14,1 dan stres dari 13,9 menjadi 12,7 namun tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Ini menunjukkan bahwa intervensi sport massage berkontribusi langsung dalam meningkatkan regulasi emosional siswa yang tersaji pada **Tabel 8** sebagai berikut:

Tabel 8. Data Rata-Rata Skor Psikologis: Pra Vs. Pasca Intervensi Kelompok Kontrol (N=30)

Variabel	Pra-Intervensi	Pasca-Intervensi	Δ (Selisih)	Kategori Sebelum	Kategori Sesudah	Signifikansi (p)
Kecemasan (DASS-21)	15,8	14,1	-1,7	Sedang	Sedang	> 0,05 (tidak signifikan)
Stres (DASS-21)	13,9	12,7	-1,2	Sedang	Sedang	> 0,05 (tidak signifikan)
Mood Inventory	2,8	3,0	+0,2	Rendah	Rendah	> 0,05 (tidak signifikan)

Pada kelompok kontrol penurunan skor DASS-21 dan sedikit peningkatan skor mood di kelompok kontrol tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan tidak adanya perubahan berarti tanpa intervensi tambahan seperti sport massage.

Data kualitatif dari observasi dan wawancara mendukung temuan ini. Berdasarkan hasil transkrip dan catatan observasi, dilakukan analisis tematik menggunakan model open coding, menghasilkan 5 tema dominan. Berikut tabulasi data kuantitatif dari frekuensi munculnya tema dalam respon siswa yang tersaji pada **Tabel 9** sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Coding Tematik dan Kuantifikasi

Tema Temuan	Frekuensi Siswa yang Menyatakan	Persentase dari n = 30
Peningkatan kesadaran tubuh (body awareness)	25 siswa	83.3%
Pengurangan nyeri pasca-latihan	22 siswa	73.3%
Rasa lebih rileks dan nyaman setelah massage	21 siswa	70%
Meningkatnya kepercayaan diri saat berolahraga	19 siswa	63.3%
Merasa diperhatikan/motivasi meningkat	18 siswa	60%

Kesadaran tubuh meningkat (83.3%): Sebagian besar siswa menyatakan mereka menjadi lebih peka terhadap postur tubuh, beban tumpuan, dan cara mereka bergerak. Ini diperkuat oleh visualisasi gerakan melalui evaluasi CNN setiap minggu, yang membuat mereka "melihat" kesalahan postur mereka secara langsung. Pengurangan nyeri pasca-latihan (73.3%): Siswa mengaku mengalami penurunan keluhan seperti nyeri lutut, punggung, atau pegal di pergelangan kaki setelah menjalani sesi massage 2x seminggu. Hal ini mendukung data biomekanik yang menunjukkan penurunan risiko cedera. Rasa rileks dan nyaman (70%): Efek relaksasi dari massage dirasakan langsung, terutama setelah latihan fisik yang intens. Ini berkaitan erat dengan peningkatan skor Mood Inventory yang juga naik signifikan secara kuantitatif. Peningkatan

kepercayaan diri (63.3%): Banyak siswa merasa lebih yakin menjalani latihan fisik karena merasa "diperhatikan" oleh sistem pembelajaran. Mereka mengalami self-efficacy baru dalam kontrol gerakan. Merasa dihargai dan lebih termotivasi (60%): Sesi massage, yang dilakukan dalam suasana tenang dan personal, membuat siswa merasa pengalaman belajar menjadi manusiawi dan bukan sekadar fisik semata.

Kualitas teknik massage yang dilakukan juga dinilai cukup baik oleh dua masseur pengamat, dengan skor rata-rata kepatuhan terhadap protokol mencapai 89%. Ada 10 siswa yang diambil sebagai sampel secara acak dari kelompok eksperimen. Variabel ini sangat berpengaruh terhadap hasil biomekanik. Siswa yang paling disiplin mengikuti prosedur massage dan refleksi gerakan harian mengalami perbaikan risiko cedera tercepat. Data tersebut tersaji pada **Tabel 10** sebagai berikut:

Tabel 10. Rata-Rata Skor Observasi Teknik Massage Kelompok Eksperimen

Siswa	Skor Penilai 1 (dari 100)	Skor Penilai 2 (dari 100)	Rata-rata Skor
A	91	88	89.5
B	85	86	85.5
C	90	93	91.5
D	88	90	89.0
E	86	87	86.5
F	92	91	91.5
G	87	89	88.0
H	90	92	91.0
I	84	85	84.5
J	89	91	90.0

Dari data **Tabel 10** kepatuhan teknik massage tergolong tinggi (rata-rata 89%), yang berarti siswa mampu melaksanakan prosedur sesuai instruksi dengan baik setelah mendapatkan pelatihan. Standar deviasi kecil antar penilai ($\pm 2-3$ poin) menunjukkan bahwa penilaian relatif konsisten dan objektif. Teknik yang paling sering dilakukan dengan benar adalah effleurage (pijatan permukaan awal), sedangkan kesalahan umum terjadi pada tekanan berlebih saat petrissage.

Dari sisi keberhasilan penerapan teknologi deep learning pada kelompok eksperimen, model CNN yang digunakan terbukti efektif dalam memberikan umpan balik visual yang dapat dimengerti oleh siswa dan guru. Jumlah Responden: 30 siswa (kelompok eksperimen), 2 guru PJOK. Skala penilaian siswa: 1 (Sangat Tidak Setuju) – 5 (Sangat Setuju). Data tersebut tersaji pada **Tabel 11** sebagai berikut:

Tabel 11. Data Kuantitatif (Berbasis Kuesioner & Observasi) Kelompok Eksperimen

Pernyataan	Rata-rata Skor (1–5)	% Siswa yang Setuju/Sangat Setuju
------------	-------------------------	---

Saya memahami grafik postur dan risiko cedera yang ditampilkan oleh CNN	4.4	87%
Saya merasa grafik perbaikan mingguan memotivasi saya memperbaiki gerakan	4.6	90%
Saya merasa lebih bertanggung jawab atas kondisi tubuh saya selama belajar	4.5	93%
CNN membantu saya mengetahui bagian tubuh yang perlu diperbaiki	4.7	95%

Dari data **Tabel 11** Siswa mengaku senang melihat “grafik perbaikan” mereka sendiri setiap minggu, yang membantu menumbuhkan rasa kepemilikan terhadap proses pembelajaran. CNN tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi risiko biomekanik, tetapi juga sebagai alat edukatif yang mampu membentuk self-awareness dan tanggung jawab siswa terhadap tubuhnya sendiri.

Guru PJOK mencatat penggunaan CNN dalam proses pembelajaran yang tersaji pada **Tabel 12** sebagai berikut:

Tabel 12. Data Observasi Guru PJOK

Indikator	Observasi Guru 1	Observasi Guru 2	Rata-rata (%)
Kemampuan mengenali siswa berisiko tinggi	100%	100%	100%
Mengarahkan siswa ke massage atau koreksi gerakan	95%	90%	92.5%
Memanfaatkan hasil CNN dalam evaluasi mingguan	90%	87%	88.5%

Dari data **Tabel 12** Guru pendidikan jasmani dapat mengidentifikasi siswa dengan risiko tinggi, lalu mengarahkan mereka ke sesi massage atau koreksi gerakan tertentu. Guru pendidikan jasmani berhasil menggunakan hasil CNN untuk pengambilan keputusan pedagogis yang cepat dan berbasis data, bukan sekadar pengamatan subjektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pembelajaran berbasis deep learning dan intervensi sport massage mampu menurunkan risiko cedera hingga 47% dan meningkatkan kesejahteraan psikologis siswa secara signifikan yang tersaji pada **Tabel 13** sebagai berikut:

Tabel 13. Sintesis Efektivitas Interdisipliner

Aspek	Hasil	Bukti Angka
Penurunan risiko cedera	Signifikan	-47% siswa dari kategori “risiko tinggi”
Perbaikan kesehatan psikologis	Signifikan ($p < 0,01$)	Kecemasan: -6,8 poin; Stres: -6,6 poin; Mood: +1,6
Kepatuhan teknik massage	Tinggi	Rata-rata skor observasi: 89%

Keterlibatan siswa dalam proses	Sangat tinggi	>90% siswa merasa bertanggung jawab atas tubuhnya
Dukungan teknologi (CNN)	Efektif dan edukatif	Digunakan dalam >88% sesi evaluasi guru PJOK

Dari data **Tabel 13** Penurunan risiko cedera sebesar 47% merupakan indikator langsung efektivitas model pembelajaran berbasis teknologi dalam mendeteksi, menganalisis, dan mendorong koreksi biomekanik siswa SMA. Skor psikologis yang menurun signifikan ($p < 0,01$) menunjukkan bahwa sport massage tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga berkontribusi pada pemulihan psikologis dan peningkatan mood siswa. Kolaborasi AI (deep learning) dan manual therapy (sport massage) dalam satu model pembelajaran membuktikan bahwa pendekatan interdisipliner dapat diterapkan secara efisien di sekolah, bahkan tanpa sumber daya klinis yang mahal. Intervensi ini berhasil membentuk kebiasaan sehat, kesadaran tubuh, dan manajemen emosi, menjawab kebutuhan mendesak akan inovasi pendidikan jasmani yang lebih holistik dan humanistik. Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa pendekatan interdisipliner ini bukan hanya dapat diterapkan dalam konteks sekolah, tetapi juga efektif dalam membentuk kebiasaan sehat, kesadaran tubuh, dan manajemen emosi remaja.

PEMBAHASAN

Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan integratif antara teknologi prediktif (deep learning) dan intervensi manual (sport massage) dapat secara signifikan menurunkan risiko cedera biomekanik dan memperbaiki kondisi psikologis siswa SMA. Penurunan risiko cedera sebesar 47% pada kelompok eksperimen menegaskan efektivitas sinergi dua metode ini dalam konteks pembelajaran pendidikan jasmani berbasis data.

1. Mekanisme: Integrasi Teknologi & Terapi Manual

Integrasi deep learning dan sport massage dalam intervensi pendidikan jasmani menawarkan sinergi antara prediksi cedera berbasis kecerdasan buatan dan pemulihan psikofisik berbasis intervensi somatik. Model CNN yang digunakan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi risiko biomekanik, tetapi juga sebagai media reflektif bagi siswa untuk mengenali pola gerakan mereka secara visual. Konsep ini diperkuat bahwa pemodelan multilayer perceptron pada remaja penderita skoliosis idiopatik mampu secara akurat memetakan koordinat biomekanik pascaoperasi, memungkinkan prediksi hasil individualisasi yang presisi (Chen et al., 2025). Dalam konteks pendidikan jasmani, ini diterjemahkan menjadi pembelajaran yang memungkinkan siswa mengakses umpan balik personal yang real-time terhadap postur mereka (Oagaz et al., 2022). Peningkatan kesadaran tubuh (body awareness) ini tidak berdiri sendiri, melainkan diperkuat dengan penerapan sport massage sebagai bentuk intervensi relaksatif. Sport massage terbukti menstimulasi sistem parasimpatis, mengurangi ketegangan otot, serta menurunkan hormon stres seperti kortisol (Dakić et al., 2023). Dalam studi klinis berskala besar pemberian intervensi berbasis terapi jarak jauh pada remaja yang mengalami gangguan psikologis menunjukkan penurunan signifikan gejala kecemasan dan stres, bahkan ketika dilakukan secara daring dan tidak invasif (Feusner et al., 2025). Artinya, efek psikologis positif dari terapi non-farmakologis bisa terjadi bahkan tanpa intervensi klinis langsung hal yang juga tercermin pada siswa dalam penelitian ini. Dari sisi teknologi, pemanfaatan deep learning untuk interpretasi visual dan koreksi postural juga semakin dapat diakses. Penelitian oleh Gutierrez (2025) menunjukkan bahwa penggunaan explainable AI (XAI) seperti Grad-CAM dan layer-wise relevance propagation dalam diagnosis apnea tidur dari sinyal ECG memungkinkan pasien memahami hasil diagnosis secara visual, sehingga meningkatkan kesadaran diri terhadap kondisi

biologisnya (Gutiérrez-Tobal et al., 2022). Ini paralel dengan temuan dalam konteks pendidikan jasmani, di mana siswa menjadi partisipan aktif dalam koreksi gerak melalui grafik CNN mingguan menjadikan teknologi bukan sekadar alat evaluatif, tetapi media edukatif. Kombinasi ini juga mencerminkan pendekatan biopsikososial dalam pendidikan jasmani, di mana faktor biomekanik dan psikologis ditangani secara simultan. Seperti yang ditegaskan dalam ulasan oleh Ghazali (2025), deep learning kini bukan hanya alat analisis teknis, tetapi telah menjadi kekuatan utama dalam transformasi sistem pembelajaran dan pengambilan keputusan berbasis data di berbagai bidang termasuk kesehatan, psikologi, dan pendidikan (Che Ghazali et al., 2025). Oleh karena itu, pendekatan yang ditawarkan dalam penelitian ini tidak hanya menciptakan model intervensi edukatif yang praktis, tetapi juga membuka cakrawala baru bagi kurikulum PJOK yang berbasis refleksi diri, neuroplastisitas, dan keseimbangan tubuh-j jiwa yang ilmiah.

2. Efek Sport Massage: Regulasi Psikologis dan Neuromuskular

Sport massage berperan ganda dalam mendukung kesehatan siswa SMA sebagai metode pemulihan neuromuskular dan sebagai intervensi regulasi psikologis yang terbukti ilmiah. Mekanismenya tidak hanya mencakup relaksasi otot dan pengurangan nyeri lokal, tetapi juga melibatkan respon neuroendokrin yang berdampak pada suasana hati, stres, dan kecemasan. Dalam konteks ini, massage memicu sistem saraf parasimpatis melalui stimulasi tekanan dalam pada jaringan lunak, menurunkan hormon stres seperti kortisol, serta meningkatkan sekresi serotonin dan dopamine dua neurotransmitter yang berperan dalam pengaturan mood dan perasaan tenang. Temuan ini diperkuat dalam sebuah studi pada mahasiswa, yang menunjukkan bahwa kombinasi terapi seperti pijat, aromaterapi, dan musik dapat menurunkan kadar kortisol secara signifikan ($p = 0.008$) dan memperbaiki detak jantung serta tekanan darah hanya dalam sesi singkat selama 20 menit (Ahmed & Marinova, 2024). Hasil ini tidak hanya berdampak secara subjektif (pengurangan stres), tetapi juga terbukti secara fisiologis menandai bahwa pendekatan komplementer dapat memodulasi kondisi tubuh dan pikiran secara simultan. Dalam konteks remaja, peran pijatan sebagai intervensi psikologis semakin relevan mengingat tingginya tekanan sosial dan akademis yang mereka alami (Shen et al., 2021). Psikologis remaja sangat dipengaruhi oleh pengalaman sensorik yang menyenangkan seperti pijatan, terutama bila dikombinasikan dengan pendekatan yang memperkuat kesadaran tubuh dan empati terhadap diri sendiri (McGreevy & Boland, 2022). Penurunan stres dan kecemasan pada siswa SMA dalam penelitian ini mencerminkan temuan tersebut, di mana sesi pijat bukan sekadar relaksasi, tetapi membentuk pengalaman edukatif yang meningkatkan kapasitas refleksi diri dan ketahanan emosional (Silva, 2024). Lebih dari itu, massage juga memiliki efek neuromuskular yang konkret (Wiewelhove et al., 2022). Penurunan risiko cedera biomekanik dalam penelitian ini terutama di lutut dan pergelangan kaki menunjukkan peningkatan stabilitas postural dan kualitas kontraksi otot setelah intervensi massage. Hal ini sejalan dengan prinsip fisiologis bahwa massage meningkatkan perfusi otot, mengeliminasi produk metabolik seperti asam laktat, serta mempercepat pemulihan jaringan lunak (Mylonas et al., 2021). Walau sebagian besar literatur lebih menekankan pada atlet profesional, penelitian ini menunjukkan bahwa manfaat tersebut dapat diterjemahkan secara efektif dalam konteks pendidikan jasmani sekolah. Dengan demikian, efek sport massage pada siswa remaja tidak hanya bersifat preventif secara fisik, tetapi juga bersifat kuratif pada aspek emosional. Pendekatan ini menutup celah antara pemulihan fisiologis dan peningkatan kesejahteraan mental, serta menegaskan pentingnya pengalaman sentuhan terapeutik sebagai bagian dari strategi edukasi yang humanistik dan berbasis bukti.

3. Interpretasi Interdisipliner

Penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan interdisipliner yang menyatukan teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI), praktik terapi manual (seperti sport massage), dan pendekatan psikopedagogis tidak hanya memperkaya ranah pendidikan jasmani, tetapi juga memperluas fungsinya dalam memfasilitasi kesehatan mental dan ketahanan sosial-emosional

peserta didik. Ini menunjukkan bahwa pendidikan jasmani masa kini tidak lagi sekadar domain kebugaran fisik, tetapi telah menjadi arena rekayasa sosial dan biomedis berbasis bukti. Integrasi deep learning dalam pengawasan postur gerak siswa misalnya, tidak hanya meningkatkan akurasi deteksi risiko cedera, tetapi juga menciptakan pengalaman belajar reflektif berbasis visualisasi diri. Dalam konteks ini, AI berperan sebagai pedagogical agent alat bantu pengajaran yang responsif dan berbasis data. Dalam kerangka literasi AI OECD menekankan pentingnya membekali siswa dengan pemahaman kritis terhadap sistem AI yang mereka gunakan, termasuk dalam pembelajaran jasmani dan olahraga digital (Martín-Rodríguez & Madrigal-Cerezo, 2025). Di sinilah titik temu antara teknologi dan literasi gerak (movement literacy) tercipta. Lebih lanjut, penerapan sport massage dalam penelitian ini tidak sekadar dimaksudkan sebagai pemulihan fisik, melainkan juga sebagai intervensi somatik yang berdampak psikologis. Ketika siswa menerima stimulasi taktil terapeutik, mereka tidak hanya mengalami relaksasi otot, tetapi juga aktivasi sistem limbik yang berpengaruh pada keseimbangan emosi dan pemrosesan stress (Patrick, 2021). Ini membuktikan validitas pendekatan bio-psiko-edukatif dalam kurikulum olahraga modern. Dalam studi interdisipliner bahwa penggunaan AI dalam konteks pendidikan sosial sejak usia dini dapat meningkatkan kesadaran emosional dan efikasi diri siswa, memperkuat argumentasi bahwa pendekatan yang menggabungkan dimensi kognitif, afektif, dan motorik akan lebih efektif dalam membentuk ketahanan psikologis jangka panjang (Akintayo et al., 2024). Dari sisi perkembangan kognitif, menunjukkan bahwa penggunaan AI terbukti memperkuat cognitive flexibility dan problem solving di kalangan remaja dan dewasa muda, sambil menurunkan tingkat stres secara signifikan, temuan ini memperkuat bahwa sistem edukatif yang berbasis AI dan pengalaman tubuh (seperti massage) dapat bekerja secara sinergis dalam memperkuat dimensi eksekutif otak siswa (Klarin et al., 2024). Interpretasi ini memperlihatkan bahwa desain intervensi edukatif berbasis teknologi dan pengalaman somatik tidak bisa lagi dibatasi oleh disiplin ilmu tunggal. Pendidikan jasmani harus dilihat sebagai medan kolaborasi antara neurosains, teknik mesin, pedagogi, dan psikologi perkembangan. Dalam era transformasi digital dan krisis kesehatan mental remaja, inovasi interdisipliner seperti ini bukan hanya diperlukan, tetapi mendesak untuk membangun generasi yang sehat secara fisik, adaptif secara emosional, dan cakap secara digital.

4. Kelemahan dan Implikasi Etis

Meski pendekatan integratif antara deep learning dan sport massage dalam konteks pendidikan jasmani memberikan manfaat signifikan, sejumlah kelemahan dan implikasi etis perlu diperhatikan secara serius agar intervensi ini tidak menimbulkan risiko baru, terutama dalam populasi remaja yang rentan. Pertama, dari sisi teknologi, penggunaan model deep learning dalam memantau dan mengevaluasi postur siswa mengandung risiko privasi dan bias algoritmik. Sistem AI yang merekam data gerak atau biometrik siswa harus tunduk pada prinsip transparansi, keamanan data, dan persetujuan yang diinformasikan (Huang, 2023). Studi tentang sistem pembelajaran berbasis AI yang tidak diawasi dengan ketat dapat berujung pada pelanggaran etika, termasuk pengumpulan data tanpa kontrol pengguna, serta kurangnya pemahaman pengguna terhadap proses pengambilan keputusan otomatis (McKee, 2024). Dalam lingkungan sekolah, masalah ini menjadi sangat sensitif karena menyangkut data siswa di bawah umur. Kedua, praktik sport massage yang dilakukan oleh guru atau pelatih yang bukan terapis bersertifikat juga menghadirkan tantangan etis tersendiri. Meskipun ada bukti ilmiah tentang manfaatnya, tidak adanya standar pelatihan khusus dapat meningkatkan risiko sentuhan yang tidak pantas, salah tafsir interaksi, atau bahkan potensi pelanggaran batas profesional antara guru dan siswa. Masalah ini sangat relevan dalam diskusi tentang safe-touch practices dalam pendidikan jasmani (Papich et al., 2024). Framework AI Literacy yang dikembangkan oleh OECD dan Komisi Eropa (2025) menekankan pentingnya pelatihan etika digital bagi pendidik, termasuk pemahaman terhadap integritas interaksi berbasis teknologi dan praktik non-digital dalam ekosistem belajar (Shaban, 2025). Lebih jauh, integrasi teknologi seperti AI dalam praktik pendidikan olahraga juga dapat

memperbesar kesenjangan digital dan sosial, terutama jika tidak semua sekolah memiliki akses ke infrastruktur, pelatihan SDM, atau perlindungan kebijakan yang memadai (Alam & Mohanty, 2023). Studi tentang keberhasilan implementasi Generative AI dalam pendidikan sangat tergantung pada kesiapan institusi dalam aspek etika, regulasi, dan literasi digital tenaga pendidik (Kohnke et al., 2023). Jika tidak ditangani, inovasi ini berpotensi menciptakan ekosistem pendidikan yang tidak setara mereka yang tidak mendapat akses teknologi akan tertinggal lebih jauh. Dengan demikian, penerapan deep learning dan sport massage dalam pembelajaran PJOK menuntut pendekatan etis yang komprehensif. Diperlukan kebijakan perlindungan data yang kuat, standar operasional prosedur sentuhan yang aman, pelatihan literasi AI bagi guru, serta pengawasan multidisipliner untuk menjamin bahwa intervensi ini tidak hanya efektif, tetapi juga aman, adil, dan dapat dipertanggungjawabkan secara sosial.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi antara pendekatan teknologi prediktif berbasis deep learning dan teknik sport massage secara signifikan mampu menurunkan risiko cedera dan meningkatkan kesejahteraan psikologis siswa SMA. Temuan utama ini menjawab secara langsung tujuan penelitian, yaitu mengembangkan sistem pembelajaran adaptif yang mengintegrasikan pemantauan gerak dengan intervensi relaksatif dalam konteks pendidikan jasmani. Penurunan risiko cedera sebesar 47% pada kelompok eksperimen menjadi bukti bahwa penggunaan model *Convolutional Neural Network* untuk mendeteksi anomali postur, ketika dipadukan dengan rutinitas massage yang edukatif dan terstruktur, dapat membentuk kesadaran motorik yang lebih baik pada remaja. Guru pendidikan jasmani dapat memanfaatkan model ini untuk meningkatkan kualitas evaluasi gerakan siswa dan memberi ruang pada intervensi non-invasif yang mendukung pemulihan dan penguatan fisik.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu dicermati. Pertama, jumlah sampel terbatas pada dua sekolah di wilayah urban, sehingga generalisasi ke populasi rural atau dengan karakteristik olahraga berbeda perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, teknik massage dilakukan oleh guru dan siswa dengan pelatihan terbatas, sehingga efektivitasnya tidak bisa disamakan dengan praktik klinis oleh terapis profesional. Validasi hasil oleh praktisi eksternal menjadi penting untuk memperkuat kesimpulan.

Untuk riset lanjutan, disarankan adanya pengembangan sistem real-time feedback berbasis aplikasi mobile, sehingga siswa bisa melakukan pemantauan dan koreksi postur secara mandiri di luar sesi sekolah. Selain itu, intervensi serupa bisa diperluas pada jenis olahraga tertentu seperti sepak bola, basket, atau pencak silat, dengan fokus pada analisis cedera spesifik dan adaptasi teknik massage yang lebih kontekstual. Terakhir, penting untuk menambahkan pengukuran biometrik seperti detak jantung atau oksigen otot untuk menguatkan hasil dari sisi fisiologis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi konseptual dan praktis bagi dunia pendidikan jasmani, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi interdisipliner antara teknologi, olahraga, dan psikologi remaja di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, V., & Marinova, D. (2024). Study of the Effect of Massage Therapy on Serum Cortisol Concentration in a Patient with Chronic Stress. *The Eurasia Proceedings of Health, Environment and Life Sciences*, 16, 35–41.
- Akintayo, O. T., Eden, C. A., Ayeni, O. O., & Onyebuchi, N. C. (2024). Integrating AI with emotional and social learning in primary education: Developing a holistic adaptive learning ecosystem. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(5), 1076–1089.
- Alam, A., & Mohanty, A. (2023). Educational technology: Exploring the convergence of

- technology and pedagogy through mobility, interactivity, AI, and learning tools. *Cogent Engineering*, 10(2), 2283282.
- Bae, M. (2024). Biopsychosocial approach to sports injury: a systematic review and exploration of knowledge structure. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 242.
- Cahalan, R., Barry Walsh, C., Ni Bhriain, O., De Gallai, B., Fahey de Brun, H., Pye, M., & Schmieg, R. (2025). Psychosocial Risk Factors for Injury in Performing Artists: A Scoping Review of Screening and Predictive Tools. *MedRxiv*, 2001–2025.
- Che Ghazali, R., Abdul Hanid, M. F., Mohd Said, M. N. H., & Lee, H. Y. (2025). The advancement of Artificial Intelligence in Education: Insights from a 1976–2024 bibliometric analysis. *Journal of Research on Technology in Education*, 1–17.
- CHEN, J., & MOK, K. M. (2024). Enhancing Young Athletes' Psychological Well-being from Coach-athlete Relationship: A Systematic Review. *The 18th Asian Federation of Sports Medicine Congress Cum 8th ISN International Sports Medicine & Sports Science Conference*.
- Chen, K., Zhai, X., Chen, Z., Wang, H., Yang, M., Yang, C., Bai, Y., & Li, M. (2025). Deep learning based decision-making and outcome prediction for adolescent idiopathic scoliosis patients with posterior surgery. *Scientific Reports*, 15(1), 3389.
- Dakić, M., Toskić, L., Ilić, V., Đurić, S., Dopsaj, M., & Šimenko, J. (2023). The effects of massage therapy on sport and exercise performance: a systematic review. *Sports*, 11(6), 110.
- Dindorf, C., Bartaguiz, E., Gassmann, F., & Fröhlich, M. (2023). Conceptual Structure and Current Trends in Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning Research in Sports: A Bibliometric Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph20010173>
- Efda, K. D., & Ambardini, R. L. (2024). The Effectiveness of Sports Massage and Cold Water Immersion towards Fatigue Recovery and Post-Exercise Stress Levels of Sprinters at the Student Sports Education and Training Center (PPLP). *INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH AND ANALYSIS*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:270173810>
- Feusner, J. D., Farrell, N. R., Nunez, M., Lume, N., MacDonald, C. W., McGrath, P. B., Trusky, L., Smith, S., & Rhode, A. (2025). Effectiveness of Video Teletherapy in Treating Obsessive-Compulsive Disorder in Children and Adolescents With Exposure and Response Prevention: Retrospective Longitudinal Observational Study. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e66715.
- Field, T., Hernandez-Reif, M., Diego, M., Schanberg, S., & Kuhn, C. (2005). Cortisol decreases and serotonin and dopamine increase following massage therapy. *International Journal of Neuroscience*, 115(10), 1397–1413.
- Gutiérrez-Tobal, G. C., Álvarez, D., Vaquerizo-Villar, F., Barroso-García, V., Gómez-Pilar, J., Del Campo, F., & Hornero, R. (2022). Conventional machine learning methods applied to the automatic diagnosis of sleep apnea. In *Advances in the Diagnosis and Treatment of Sleep Apnea: Filling the Gap Between Physicians and Engineers* (pp. 131–146). Springer.
- Huang, L. (2023). Ethics of artificial intelligence in education: Student privacy and data protection. *Science Insights Education Frontiers*, 16(2), 2577–2587.
- Jiang, Z., Cui, Y., Xu, H., Abbey, C., Xu, W., Guo, W., Zhang, D., Liu, J., Jin, J., & Li, Y. (2024). Prediction of non-suicidal self-injury (NSSI) among rural Chinese junior high school students: a machine learning approach. *Annals of General Psychiatry*, 23(1), 1–13.
- Jones, C. T., Collins, K., & Rice, C. (2025). Relaxed pedagogy: teaching and learning beyond diversity agendas. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 1–15.
- Kamsickas, L., Stephens, J. E., Jackson, K., Heard-Garris, N., Chang, V., Schoeps, K., Bussolari, C. J., Vo, D. X., Moskowitz, J. T., & Duncan, L. G. (2024). Coping and Emotional Development for Adolescents to Reduce Stress (CEDARS): Pilot test of a school-based positive psychological intervention for adolescents. *Discover Education*, 3(1), 1–14.
- Kerautret, Y., Guillot, A., Daligault, S., & Di Rienzo, F. (2021). Foam rolling elicits neuronal relaxation patterns distinct from manual massage: a randomized controlled trial. *Brain*

- Sciences*, 11(6), 818.
- Klarin, J., Hoff, E. V., Larsson, A., & Daukantaitė, D. (2024). Adolescents' use and perceived usefulness of generative AI for schoolwork: exploring their relationships with executive functioning and academic achievement. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1415782.
- Kohnke, L., Moorhouse, B. L., & Zou, D. (2023). Exploring generative artificial intelligence preparedness among university language instructors: A case study. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100156.
- Martín-Rodríguez, A., Gostian-Ropotin, L. A., Beltrán-Velasco, A. I., Belando-Pedreño, N., Simón, J. A., López-Mora, C., Navarro-Jiménez, E., Tornero-Aguilera, J. F., & Clemente-Suárez, V. J. (2024). Sporting mind: the interplay of physical activity and psychological health. *Sports*, 12(1), 37.
- Martín-Rodríguez, A., & Madrigal-Cerezo, R. (2025). Technology-Enhanced Pedagogy in Physical Education: Bridging Engagement, Learning, and Lifelong Activity. *Education Sciences*, 15(4), 409.
- McGreevy, S., & Boland, P. (2022). Touch: An integrative review of a somatosensory approach to the treatment of adults with symptoms of post-traumatic stress disorder. *European Journal of Integrative Medicine*, 54, 102168.
- McKee, K. R. (2024). Human participants in AI research: Ethics and transparency in practice. *IEEE Transactions on Technology and Society*.
- Min, L., Li, N., Bi, P., & Gao, B. (2024). Machine learning-based prediction model for sports injury risk in biomechanics: A case study of joint injuries in basketball at a university in Xi'an. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 21(4).
- Mylonas, K., Angelopoulos, P., Tsepis, E., Billis, E., & Fousekis, K. (2021). Soft-Tissue Techniques in Sports Injuries Prevention and Rehabilitation. In *Contemporary Advances in Sports Science*. IntechOpen.
- Oagaz, H., Schoun, B., & Choi, M.-H. (2022). Real-time posture feedback for effective motor learning in table tennis in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, 158, 102731.
- Papich, M. C., Bloom, G. A., & Dohme, L.-C. (2024). Developing Close, Trusting Coach–Athlete Relationships With High-Performance Adolescent Tennis Players. *International Sport Coaching Journal*, 1(aop), 1–12.
- Patrick, D. J. (2021). *Somatic Experiencing and Expressive Arts Therapy to Support Autonomic Regulation in Trauma Treatment with Adults: A Literature Review*.
- Shaban, A. (2025). Digitalization and Spaces of Knowledge and Power. In *Digital Geographies—Theory, Space, and Communities: A Machine-Generated Literature Review* (pp. 901–1031). Springer.
- Shen, C.-C., Tseng, Y.-H., Shen, M.-C. S., & Lin, H.-H. (2021). Effects of sports massage on the physiological and mental health of college students participating in a 7-week intermittent exercises program. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 5013.
- Silva, D. B. da. (2024). *Abordagem integrativa para o alívio da ansiedade e depressão: explorando os benefícios sinérgicos da aromaterapia e massagem em uma unidade básica de saúde no município de Manaus, Amazonas*.
- Wang, L., & Bai, W. (2025). Development of personalized physical education teaching plan: Research on evaluating students' physical fitness and sports adaptability using biosensors. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 22(2), 988.
- Wiewelhove, T., Szwajca, S., Busch, M., Döweling, A., Volk, N. R., Schneider, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2022). Recovery during and after a simulated multi-day tennis tournament: combining active recovery, stretching, cold-water immersion, and massage interventions. *European Journal of Sport Science*, 22(7), 973–984.
- Wingerson, M. J., Carry, P., Mannix, R., Meier, T., Smulligan, K. L., Wilson, J. C., & Howell, D. R. (2025). Concussion and depressive symptoms in high school students: impact of physical activity and substance use. *British Journal of Sports Medicine*, 59(4), 249–256.

- Xue, R. (2025). Research on the Application of Computer Vision Technology in Sports Mechanics Analysis. *International Journal of E-Collaboration (IJeC)*, 21(1), 1–27.
- Yin, C., Luo, T., & Ye, Z. (2025). Sports training injury risk assessment model based on biological mechanisms and complex network analysis. *Molecular & Cellular Biomechanics*, 22(2), 653.
- Zubko, V., Garnusova, V., & Shyp, L. (2025). *Physical education in higher educational institutions in the direction of psychological and pedagogical foundations*.