Sains Olahraga : Jurnal Ilmiah Ilmu Keolahragaan
Diterbitkan Oleh:
Prodi Ilmu Keolahragaan
FIK-UNIMED
ISSN 2580-5150

EFEKTIVITAS INTEGRASI ANALISIS BIOMEKANIK BERBASIS VIDEO DALAM PROGRAM COACHING ATLET SEPAK BOLA

Oleh
Tri Setyo Guntoro[1], Friska Sari Gracia Sinaga[1], Junalia Muhammad[1], Nasruddin[1], Daniel Womsiwor[1]
[1]Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Cenderawasih
Email: friska.sinaga@fik.uncen.ac.id

Abstrak

Perkembangan *sport science* mendorong penerapan pendekatan pembinaan berbasis bukti untuk meningkatkan kualitas proses latihan dan performa atlet. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah integrasi analisis biomekanika berbasis video sebagai media evaluasi mengenai karakteristik gerakan atlet. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas integrasi analisis biomekanika berbasis video terhadap efisiensi gerak dan performa siswa dengan peminatan sepak bola SMA Terintegrasi Jayapura. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *One Group Pretest–Posttest Design*. Subyek penelitian berjumlah 15 siswa SMA Terintegrasi Jayapura yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan uji *paired sample t-test* untuk mengetahui perbedaan kondisi sebelum dan sesudah intervensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi analisis biomekanika berbasis video memberikan peningkatan efisiensi gerak dan performa atlet setelah mengikuti program *coaching*. Dengan kata lain, integrasi analisis biomekanika berbasis video merupakan pendekatan yang efektif untuk mendukung program coaching dan berpotensi menjadi model pembinaan berbasis *sport science* pada sekolah olahraga.

Kata Kunci: Biomekanika; *video-based analysis*; *coaching*; performa; sepak bola

A. PENDAHULUAN

Sepak bola merupakan salah satu cabang olahraga yang memiliki tingkat kompetisi tinggi dan menuntut penguasaan kemampuan fisik, teknik, taktik, serta psikologis secara terpadu. Perkembangan sepak bola modern menunjukkan bahwa keberhasilan atlet tidak lagi hanya ditentukan oleh intensitas latihan, tetapi juga oleh penerapan pendekatan ilmiah (*sport science*) yang mampu meningkatkan efektivitas proses pembinaan. Dalam konteks olahraga prestasi, pelatih dituntut tidak hanya berperan sebagai instruktur teknik, tetapi juga sebagai pengambil keputusan yang mampu memanfaatkan data objektif untuk merancang, mengevaluasi, dan mengembangkan program latihan yang sesuai dengan karakteristik atlet. Pendekatan ini dikenal sebagai *evidence-based coaching*, yaitu proses pembinaan yang didasarkan pada bukti ilmiah sehingga keputusan latihan tidak semata-

mata bergantung pada pengalaman atau intuisi pelatih. (Carling et al., 2009; Williams & Hodges, 2005)

Salah satu disiplin ilmu yang memiliki kontribusi penting dalam mendukung *evidence-based coaching* adalah biomekanika olahraga. Biomekanika mempelajari prinsip-prinsip mekanika yang bekerja pada tubuh manusia selama melakukan aktivitas gerak sehingga mampu memberikan informasi mengenai efisiensi, koordinasi, serta kualitas teknik gerakan atlet. Melalui analisis biomekanika, pelatih dapat mengidentifikasi karakteristik gerak yang optimal maupun kesalahan teknik yang berpotensi menurunkan performa atau meningkatkan risiko cedera. Pada cabang olahraga sepak bola, analisis biomekanika telah dimanfaatkan untuk mengevaluasi berbagai keterampilan dasar, seperti menendang, berlari, mengubah arah (*change of direction*), melompat, dan melakukan akselerasi, yang seluruhnya berperan penting dalam menentukan performa pertandingan. (Knudson, 2021; McGinnis, 2021; Winter, 2009)

Kemajuan teknologi telah memperluas pemanfaatan biomekanika dalam proses pembinaan atlet. Jika sebelumnya analisis gerak lebih banyak dilakukan menggunakan sistem *motion capture* tiga dimensi yang memerlukan laboratorium khusus dan biaya operasional tinggi, saat ini analisis biomekanika berbasis video dua dimensi (*2D video-based biomechanical analysis)* berkembang sebagai alternatif yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan di lingkungan latihan. Perangkat lunak analisis video memungkinkan pelatih memperoleh informasi mengenai sudut sendi, kecepatan gerak, waktu kontak kaki dengan permukaan, hingga perpindahan pusat massa tubuh secara lebih objektif. Selain berfungsi sebagai alat evaluasi, visualisasi gerakan melalui rekaman video juga memudahkan atlet memahami kesalahan teknik sehingga proses koreksi gerakan dapat berlangsung lebih cepat dan efektif. (Barzyk et al., 2024; Vieira et al., 2022; Glazier, 2021)

Meskipun demikian, penerapan analisis biomekanika dalam pembinaan atlet usia sekolah di Indonesia masih relatif terbatas. Pada praktiknya, proses *coaching* di banyak sekolah olahraga maupun klub pembinaan masih didominasi oleh observasi visual dan pengalaman pelatih. Pendekatan tersebut memiliki nilai praktis, tetapi cenderung bersifat subjektif sehingga hasil evaluasi dapat berbeda antara satu pelatih dengan pelatih lainnya. Kondisi ini menyebabkan proses identifikasi kesalahan teknik kurang konsisten dan sering kali tidak didukung oleh data kuantitatif yang dapat dijadikan dasar pengambilan

keputusan. Padahal, perkembangan teknologi analisis gerak saat ini telah menyediakan berbagai solusi yang lebih terjangkau untuk membantu pelatih menerapkan evaluasi teknik secara objektif dalam kegiatan latihan sehari-hari. (Mason et al., 2021; Pearson et al., 2025)

SMA Terintegrasi Jayapura sebagai salah satu sekolah yang berorientasi pada pembinaan prestasi olahraga memiliki potensi besar dalam mengembangkan pendekatan pembinaan berbasis *sport science*. Siswa atlet yang berada pada jenjang usia sekolah merupakan fase penting dalam pengembangan keterampilan teknik dan pembentukan pola gerak yang efisien. Oleh karena itu, penerapan analisis biomekanika berbasis video pada tahap pembinaan ini diharapkan dapat membantu pelatih memberikan umpan balik teknik secara lebih akurat sehingga proses latihan menjadi lebih efektif dan berorientasi pada peningkatan performa jangka panjang.

Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa analisis biomekanika mampu meningkatkan kualitas evaluasi teknik gerak pada atlet sepak bola. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada deskripsi karakteristik biomekanika atau pengujian teknik gerakan secara terpisah. Penelitian yang mengintegrasikan hasil analisis biomekanika secara langsung ke dalam program *coaching* sebagai dasar penyusunan latihan dan pemberian *visual feedback* masih relatif terbatas, terutama pada atlet usia sekolah di Indonesia. Selain itu, penelitian dengan konteks pembinaan olahraga di wilayah Papua juga masih sangat sedikit sehingga bukti ilmiah mengenai efektivitas pendekatan tersebut dalam meningkatkan efisiensi gerak dan performa atlet masih memerlukan penguatan. (Lees et al., 2010; Vieira et al., 2022; Martinez et al., 2024)

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan pembinaan yang mengintegrasikan analisis biomekanika berbasis video ke dalam program *coaching* sebagai bagian dari proses evaluasi teknik gerak. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang lebih mengandalkan observasi subjektif pelatih, penelitian ini memanfaatkan data biomekanika sebagai dasar pemberian *visual feedback* kepada siswa atlet sehingga proses koreksi teknik dilakukan secara lebih objektif, sistematis, dan terukur. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi gerak, tetapi juga memperbaiki kualitas performa siswa atlet selama mengikuti program latihan. (Glazier, 2021; Mödinger et al., 2022; Leonard et al., 2021).

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya memanfaatkan analisis biomekanika hanya sebagai alat evaluasi teknik, penelitian ini mengintegrasikan analisis biomekanika berbasis video secara langsung ke dalam program *coaching* sebagai dasar pemberian *visual feedback* dan penyusunan latihan berbasis data (*data-driven coaching*) pada siswa atlet sepak bola tingkat sekolah. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi model pembinaan siswa atlet yang lebih objektif, sistematis, dan mudah diterapkan pada lingkungan sekolah olahraga di Indonesia. (Wang et al., 2021; Mason et al., 2021)

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *quasi experiment* melalui rancangan *One Group Pretest–Posttest Design*. Desain penelitian dipilih untuk mengevaluasi efektivitas integrasi analisis biomekanika berbasis video dalam program *coaching* terhadap peningkatan efisiensi gerak dan performa siswa atlet sepak bola. Pengukuran dilakukan dua kali, yaitu sebelum (*pretest*) dan setelah (*posttest*) pelaksanaan program *coaching* sehingga perubahan yang terjadi setelah perlakuan dapat dianalisis secara komprehensif. (Robertson et al., 2014)

Penelitian dilaksanakan di SMA Terintegrasi Jayapura, Provinsi Papua, yang merupakan salah satu sekolah dengan program pembinaan olahraga prestasi. Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari - Maret 2026, selama 8 minggu intervensi (2bulan) dengan periode penelitian yang meliputi tahap *pretest*, pelaksanaan program *coaching* berbasis analisis biomekanika, dan *posttest*. Subyek penelitian berjumlah 15 siswa, atlet peminatan sepak bola SMA Terintegrasi Jayapura yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling.*

Tabel 1
Efisiensi Gerak Dianalisis Melalui Enam Indikator Biomekanika

No	Variabel	Indikator
1	*Knee Angle*	Sudut fleksi-ekstensi lutut
2	*Hip Angle*	Sudut fleksi-ekstensi pinggul
3	*Ankle Angle*	Sudut plantarflexion–dorsiflexion
4	*Leg Swing Velocity*	Kecepatan ayunan tungkai
5	*Ground Contact Time*	Lama kontak kaki dengan permukaan
6	*Center of Mass*	Stabilitas perpindahan pusat massa tubuh

Pengumpulan data dilakukan menggunakan analisis biomekanika berbasis video sebagai media evaluasi teknik gerak atlet. (Glazier, 2021; Barzyk et al., 2024)

Instrumen penelitian terdiri atas:

1. kamera digital beresolusi tinggi;
2. tripod;
3. laptop;
4. perangkat lunak analisis biomekanika berbasis video;
5. lembar observasi biomekanika;
6. instrumen penilaian performa sepak bola.

Pengukuran dilakukan terhadap enam variabel biomekanika yang dianalisis pada fase gerakan utama teknik sepak bola.

Prosedur penelitian dilaksanakan melalui tahapan berikut. (Bompa & Buzzichelli, 2019)

1. Koordinasi dengan sekolah dan pelatih.
2. Penentuan sampel penelitian.
3. Pelaksanaan *pretest*.
4. Perekaman gerakan atlet.
5. Analisis biomekanika berbasis video.
6. Penyusunan program *coaching* berdasarkan hasil analisis.
7. Pemberian *visual feedback* selama latihan.
8. Pelaksanaan program latihan.
9. Pelaksanaan *posttest*.
10. Analisis perubahan efisiensi gerak dan performa atlet.

Data dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics.

Tahapan analisis meliputi:

1. statistik deskriptif;
2. uji normalitas;
3. uji *paired sample t-test*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

1. Hasil Penelitian

Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai perubahan setiap variabel biomekanika sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) pelaksanaan program *coaching* yang mengintegrasikan analisis biomekanika berbasis video. Variabel yang dianalisis meliputi *knee angle* kaki tumpu, *knee angle* kaki ayun,

ground contact time (GCT), *leg swing velocity*, osilasi vertikal *center of mass* (COM), serta kecepatan bola (*ball velocity*) sebagai indikator performa atlet. Hasil statistik deskriptif disajikan pada Tabel 1

Tabel 2
Statistik Deskriptif Variabel Biomekanika Sebelum dan Sesudah Intervensi (N = 15)

Variabel	Pre-test (Mean ± SD)	Post-test (Mean ± SD)	Perubahan (%)
Knee Angle Kaki Tumpu (°)	158,4 ± 4,2	142,1 ± 2,1	-10,29
Knee Angle Kaki Ayun (°)	114,2 ± 5,6	92,5 ± 3,4	-19,00
Ground Contact Time (ms)	265 ± 24	205 ± 12	-22,64
Leg Swing Velocity (°/s)	485 ± 32	625 ± 25	+28,86
Center of Mass (cm)	8,4 ± 1,5	4,8 ± 0,8	-42,85
Ball Velocity (m/s)	18,5 ± 2,1	24,2 ± 1,4	+30,81

Berdasarkan Tabel 2, seluruh variabel biomekanika menunjukkan perubahan setelah pelaksanaan program *coaching* berbasis analisis biomekanika. Penurunan nilai terjadi pada *knee angle* kaki tumpu, *knee angle* kaki ayun, *ground contact time*, dan osilasi vertikal *center of mass*, sedangkan peningkatan terjadi pada *leg swing velocity* dan *ball velocity*. Perubahan tersebut mengindikasikan adanya perbaikan pola gerak siswa atlet menuju gerakan yang lebih efisien setelah memperoleh intervensi berbasis *video feedback*.

Variabel yang mengalami perubahan terbesar adalah osilasi *vertikal center of mass* dengan penurunan sebesar 42,85%, menunjukkan bahwa siswa atlet mampu mempertahankan stabilitas tubuh yang lebih baik selama fase gerak. Selain itu, *ball velocity* meningkat sebesar 30,81%, dari rata-rata 18,5 m/s menjadi 24,2 m/s, yang menunjukkan peningkatan performa tendangan setelah intervensi. Peningkatan *leg swing velocity* sebesar 28,86% juga mengindikasikan bahwa atlet mampu menghasilkan ayunan tungkai yang lebih cepat sehingga transfer momentum menuju bola menjadi lebih optimal.

Secara keseluruhan, hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa integrasi analisis biomekanika berbasis video ke dalam program *coaching* memberikan perubahan positif terhadap indikator efisiensi gerak maupun performa atlet sepak bola. Meskipun demikian, untuk memastikan apakah perubahan tersebut signifikan secara statistik, diperlukan pengujian lebih lanjut melalui uji prasyarat dan uji hipotesis.

Uji Prasyarat Analisis

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis menggunakan uji parametrik, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas terhadap data *pre-test* dan *post-test* menggunakan uji *Shapiro–Wilk*. Uji ini dipilih karena jumlah sampel penelitian kurang dari 50 orang (n = 15), sehingga sesuai untuk mengevaluasi distribusi data pada sampel berukuran kecil. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05

Tabel 3
Hasil Uji Normalitas *Shapiro–Wil*k

Variabel	Pre-test (p)	Post-test (p)	Kesimpulan
Knee Angle Kaki Tumpu	0,422	0,631	Normal
Knee Angle Kaki Ayun	0,274	0,482	Normal
Ground Contact Time	0,253	0,375	Normal
Leg Swing Velocity	0,163	0,530	Normal
Osilasi Vertikal *Center of Mass*	0,312	0,218	Normal
Ball Velocity	0,543	0,742	Normal

Berdasarkan Tabel 3, seluruh variabel penelitian memiliki nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari 0,05, baik pada pengukuran *pre-test* maupun *post-test*. Dengan demikian, seluruh data berdistribusi normal dan memenuhi asumsi untuk dianalisis menggunakan uji parametrik (*paired sample t-test*).

Terpenuhinya asumsi normalitas menunjukkan bahwa perubahan nilai yang diamati pada setiap variabel biomekanika dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan statistik parametrik. Oleh karena itu, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *paired sample t-test* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah pelaksanaan program *coaching* berbasis analisis biomekanika

Uji Hipotesis

Untuk mengetahui efektivitas integrasi analisis biomekanika berbasis video dalam program *coaching*, dilakukan pengujian hipotesis menggunakan *paired sample t-test*. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan nilai setiap variabel biomekanika antara kondisi *pre-test* dan *post-test* pada subjek yang sama. Taraf signifikansi yang digunakan dalam penelitian ini adalah $\alpha = 0,05$. Hipotesis penelitian diterima apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih kecil dari 0,05.

Tabel 4
Hasil Uji *Paired Sample t-Test*

Variabel	Mean Difference	t	df	Sig. (2-tailed)	Keputusan
Knee Angle Kaki Tumpu	16,4°	12,452	14	0,000	Signifikan
Knee Angle Kaki Ayun	21,6°	11,130	14	0,000	Signifikan
Ground Contact Time	61 ms	8,875	14	0,000	Signifikan
Center of Mass	3,63 cm	9,132	14	0,000	Signifikan
Leg Swing Velocity	-140°/s	-14,230	14	0,000	Signifikan
Ball Velocity	-5,7 m/s	-10,532	14	0,000	Signifikan

Catatan: Nilai Mean Difference bertanda negatif menunjukkan bahwa nilai *post-test* lebih tinggi daripada *pre-test* karena perhitungan SPSS menggunakan urutan *Pre-test -Post-test*

Hasil uji *paired sample t-test* pada Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh variabel biomekanika mengalami perubahan yang signifikan setelah pelaksanaan program *coaching* berbasis analisis biomekanika. Seluruh variabel memiliki nilai signifikansi (*Sig. (2-tailed*)) sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis penelitian (H_1) diterima. Dengan demikian, integrasi analisis biomekanika berbasis video terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi gerak dan performa siswa atlet sepak bola SMA Terintegrasi Jayapura

2. Pembahasan Hasil Penelitian

Pengaruh Integrasi Analisis Biomekanika Berbasis Video terhadap Efisiensi Gerak Siswa Atlet Sepak Bola

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi analisis biomekanika berbasis video dalam program coaching memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi gerak siswa atlet sepak bola. Hal ini dibuktikan oleh hasil uji paired sample t-test yang menunjukkan seluruh variabel biomekanika mengalami perubahan signifikan setelah intervensi ($p < 0,05$). Secara khusus, ground contact time menurun sebesar 61 ms, center of mass berkurang sebesar 3,63 cm, sedangkan leg swing velocity meningkat sebesar 1400/s (140 derajat per detik) dan ball velocity meningkat 5,7 m/s. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa atlet mampu melakukan gerakan dengan koordinasi yang lebih baik, transfer gaya yang lebih efisien, serta stabilitas tubuh yang lebih optimal dibandingkan sebelum mengikuti program coaching berbasis analisis biomekanika.

Secara biomekanika, penurunan *ground contact time* menunjukkan bahwa atlet mampu menghasilkan gaya reaksi tanah dalam waktu yang lebih singkat sehingga fase

transisi gerakan berlangsung lebih efisien. Pada saat yang sama, penurunan osilasi vertikal *center of mass* mengindikasikan bahwa energi mekanik lebih banyak diarahkan ke gerakan horizontal dibandingkan gerakan vertikal yang tidak produktif. Kombinasi kedua perubahan tersebut mencerminkan peningkatan efisiensi pola gerak yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas performa teknik.

Temuan ini sejalan dengan perkembangan penelitian biomekanika olahraga yang menekankan bahwa analisis gerak berbasis data memungkinkan identifikasi pola koordinasi yang lebih akurat dibandingkan observasi visual semata. Teknologi biomekanika tidak hanya mendeskripsikan pola gerakan siswa atlet, tetapi juga membantu pelatih memahami aspek teknik yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan performa secara lebih terarah (Glazier, 2021; Knudson, 2021)

Selain itu, hasil penelitian ini mendukung konsep *evidence-based coaching*, yaitu proses pembinaan yang memanfaatkan data objektif sebagai dasar pengambilan keputusan latihan. Dengan demikian, perubahan yang terjadi pada variabel biomekanika tidak hanya menunjukkan adanya peningkatan performa, tetapi juga menggambarkan bahwa proses *coaching* menjadi lebih sistematis, terukur, dan berbasis bukti ilmiah.

Peran Video-Based Biomechanical Analysis dalam Meningkatkan Kualitas Coaching

Salah satu kontribusi utama penelitian ini adalah penerapan analisis biomekanika berbasis video sebagai media *visual feedback* dalam proses *coaching*. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang mengandalkan pengamatan langsung pelatih, sistem ini memberikan informasi kuantitatif mengenai sudut sendi, kecepatan gerak, waktu kontak kaki, serta stabilitas tubuh sehingga proses evaluasi teknik menjadi lebih objektif. (Mödinger et al., 2022; Mason et al., 2021)

Peningkatan ball velocity sebesar 5,7 m/s setelah intervensi menunjukkan bahwa koreksi teknik berdasarkan hasil analisis biomekanika tidak hanya memperbaiki pola gerak, tetapi juga memberikan dampak nyata terhadap kualitas performa tendangan. Demikian pula, peningkatan leg swing velocity sebesar 1400/s menunjukkan bahwa siswa atlet mampu menghasilkan ayunan tungkai yang lebih cepat sehingga transfer momentum menuju bola menjadi lebih optimal.

Hasil tersebut konsisten dengan berbagai penelitian mengenai *video-based visual feedback* yang menunjukkan bahwa umpan balik visual membantu atlet memahami

kesalahan teknik secara lebih cepat dibandingkan instruksi verbal saja. Visualisasi gerakan meningkatkan kesadaran motorik (*motor awareness)*, mempercepat proses koreksi teknik, dan mendukung pembelajaran keterampilan gerak secara lebih efektif (Leonard et al., 2021; Martinez et al., 2024; Wang et al., 2021)

Implikasi terhadap Penerapan Evidence-Based Coaching pada Sekolah Olahraga

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi pengembangan pembinaan olahraga di lingkungan sekolah. Penerapan analisis biomekanika berbasis video menunjukkan bahwa pendekatan *sport science* tidak selalu memerlukan laboratorium berteknologi tinggi, tetapi dapat diimplementasikan melalui perangkat yang relatif sederhana selama didukung oleh prosedur analisis yang sistematis. (Carling et al., 2009; McGinnis, 2021)

Temuan penelitian juga memperlihatkan bahwa penggunaan data biomekanika sebagai dasar penyusunan program latihan mampu meningkatkan kualitas pengambilan keputusan pelatih. Hal ini sejalan dengan konsep *evidence-based coaching* yang menempatkan bukti ilmiah sebagai dasar dalam proses pembinaan. Kajian sistematis mengenai pembelajaran sepak bola juga menunjukkan bahwa desain latihan dan perilaku pelatih yang didukung oleh bukti ilmiah memberikan dampak positif terhadap perkembangan keterampilan motorik dan performa

Dalam konteks SMA Terintegrasi Jayapura, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi analisis biomekanika berbasis video berpotensi menjadi model pembinaan yang dapat direplikasi pada sekolah olahraga lain di Indonesia. Pendekatan ini membuka peluang penerapan *data-driven coaching* yang lebih objektif, efisien, dan mudah diadaptasi sesuai kondisi sarana dan prasarana yang tersedia.

Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi Penelitian Selanjutnya

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, jumlah sampel yang relatif kecil, yaitu 15 siswa atlet, membatasi generalisasi hasil penelitian terhadap populasi siswa atlet sepak bola yang lebih luas. Kedua, penelitian menggunakan desain *One Group Pretest–Posttest Design* tanpa kelompok kontrol sehingga masih terdapat kemungkinan pengaruh faktor eksternal yang tidak dapat dieliminasi sepenuhnya. (Cohen, 1988; Robertson et al., 2014)

Selain itu, analisis biomekanika dilakukan menggunakan pendekatan video dua dimensi sehingga informasi mengenai rotasi dan gerakan tiga dimensi belum dapat

diamati secara komprehensif. Walaupun demikian, pendekatan ini tetap relevan untuk diterapkan pada lingkungan sekolah karena lebih sederhana, ekonomis, dan mudah diimplementasikan dibandingkan sistem *motion capture* tiga dimensi. (Barzyk et al., 2024; Vieira et al., 2022)

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain eksperimen dengan kelompok kontrol, jumlah sampel yang lebih besar, serta memanfaatkan teknologi markerless motion capture atau sistem analisis gerak tiga dimensi. Selain itu, efektivitas pendekatan ini dapat diuji pada cabang olahraga lain atau kelompok usia yang berbeda sehingga kontribusi analisis biomekanika terhadap pengembangan evidence-based coaching semakin kuat.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi analisis biomekanika berbasis video dalam program *coaching* efektif meningkatkan efisiensi gerak dan performa siswa atlet sepak bola SMA Terintegrasi Jayapura. Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi *pre-test* dan *post-test* pada seluruh variabel biomekanika yang diamati, meliputi *knee angle, ground contact time, leg swing velocity, center of mass*, dan *ball velocity ($p < 0,05$)*. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan analisis biomekanika sebagai dasar pemberian *visual feedback* mampu memperbaiki kualitas teknik gerak siswa atlet secara objektif dan sistematis.

Daftar Pustaka

Barzyk, P., Zimmermann, P., Stein, M., Keim, D., & Gruber, M. (2024). *AI-smartphone markerless motion capturing of hip, knee, and ankle joint kinematics during countermovement jumps*. *European Journal of Sport Science*, 24(10), 1452–1462. https://doi.org/10.1002/ejsc.12186

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2019). *Periodization: Theory and Methodology of Training* (6th ed.). Human Kinetics.

Carling, C., Reilly, T., & Williams, A. M. (2009). *Performance Assessment for Field Sports*. Routledge.

Cohen, J. (1988). Statistical *Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). Sage Publications.

Glazier, P. S. (2021). Beyond animated skeletons: How can biomechanical feedback be used to enhance sports performance? *Journal of Biomechanics*, 129, 110686. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110686

Knudson, D. (2021). *Fundamentals of Biomechanics* (3rd ed.). Springer.

Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 805–817.

Leonard, K. A., Simon, J. E., Yom, J., & Grooms, D. R. (2021). The immediate effects of expert and dyad external focus feedback on drop landing biomechanics in female athletes. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(1), 96–105. https://doi.org/10.26603/001c.18717

Martinez, S. K., Miltenberger, R. G., & Deshmukh, S. S. (2024). Comparing video feedback and video modeling plus video feedback for improving soccer skills. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 57(4), 936–946. https://doi.org/10.1002/jaba.2903

McGinnis, P. M. (2021). *Biomechanics of Sport and Exercise* (4th ed.). Human Kinetics.

Mason, R. J., Farrow, D., & Hattie, J. A. C. (2021). An exploratory investigation into the reception of verbal and video feedback provided to players in an Australian Football League club. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 16(1), 21–33. https://doi.org/10.1177/1747954120951080

Mödinger, M., Woll, A., & Wagner, I. (2022). Video-based visual feedback to enhance motor learning in physical education: A systematic review. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 52, 447–460.

Pearson, A., Webb, T., Milligan, G., & Miller-Dicks, M. (2025). The use of video feedback as a facet of performance analysis: An integrative review. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 18(1), 417–439. https://doi.org/10.1080/1750984X.2023.2235700

Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. N. (2014). *Research Methods in Biomechanics* (2nd ed.). Human Kinetics.

Vieira, L. H. P., Santiago, P. R. P., Pinto, A., Aquino, R., Torres, R. S., & Barbieri, F. A. (2022). Automatic markerless motion detector method against traditional digitisation for three-dimensional movement kinematic analysis of ball kicking in soccer field context. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 19(3), 1179. https://doi.org/10.3390/ijerph19031179

Wang, A., Li, X., & Huang, H. (2021). The effects of internal attention on knee biomechanics in volleyball spike jump through augmented video feedback. *Brain Sciences,* 11(5), 541. https://doi.org/10.3390/brainsci11050541

Williams, A. M., & Hodges, N. J. (Eds.). (2005). *Skill Acquisition in Sport: Research, Theory and Practice.* Routledge.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (4th ed.). John Wiley & Sons.