



Efektivitas Kinovea sebagai Alat Analisis Biomekanik Dalam Cabang Olahraga Atletik

Putra Arima¹, Asep Prima², Yan Indra Siregar³, Dicky Edwar Daulay⁴, M. Anas Sumerian⁵

^{1,2,3,4} Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

⁵ Universitas Samudra, Indonesia

Jl. Prof. Dr. Syarief Thayeb, Meurandeh, Kec. Langsa Lama, Kota Langsa, Aceh 24416

Email: putraarima@unimed.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menilai sejauh mana efektifitas Kinovea sebagai alat alternatif dalam melakukan analisis gerak dan mengukur sudut relatif lutut gerakan *drop jump*. Subjek sehat tanpa gangguan gaya berjalan (BMI $28,60 \pm 1,40$) direkrut. Subjek diminta untuk melakukan gerakan lompat jatuh pada platform yang telah ditentukan dan gerakan tersebut direkam secara bersamaan menggunakan sistem penangkapan gerak inframerah (Hawk – Cortex) dan VideoCam HD di bidang sagital saja. Penangkapan diulangi sebanyak 5 kali. Keluaran (rekaman video) dari HD VideoCam dimasukkan ke Kinovea (perangkat lunak sumber terbuka) dan pola lompat jatuh dilacak dan dianalisis. Data ini dibandingkan dengan pola lompat jatuh yang dilacak dan dianalisis sebelumnya menggunakan sistem Hawk – Cortex Secara umum, hasil yang diperoleh (pola lompat jatuh) menggunakan HD VideoCam–Kinovea mendekati hasil yang diperoleh dengan menggunakan sistem penangkapan gerak yang sudah ada. Analisis statistik dasar menunjukkan bahwa sebagian besar varian rata-rata kurang dari 10%, sehingga membuktikan pengulangan protokol dan keandalan hasilnya. Dapat disimpulkan bahwa integrasi HD VideoCam–Kinovea berpotensi menjadi sistem analisis penangkapan gerak yang andal. Selain itu, biayanya rendah, portabel dan mudah digunakan. Sebagai kesimpulan, penelitian ini dan temuannya bermanfaat dan telah memberikan kontribusi untuk meningkatkan pengetahuan yang signifikan berkaitan dengan analisis penangkapan gerak, gerakan lompat jatuh, dan integrasi HD VideoCam – Kinovea.

Kata Kunci: Kinovea, Biomekanika, Atletik

PENDAHULUAN

Pada era ini latihan *pliometrik* secara bertahap juga mulai digunakan dalam rehabilitasi, namun ada pula yang dijadikan oleh pelatih sebagai bentuk latihan untuk meningkatkan prestasi olahraga atletnya. Latihan *plyometrik* ini berusaha menggunakan berat badan itu sendiri atau menggunakan beberapa alat untuk meningkatkan rangsangan latihan. Latihan *plyometrik* diperkirakan dapat menstimulasi berbagai perubahan dalam otot, memperbesar kelompok-kelompok otot untuk memberikan respon lebih cepat dan lebih kuat (Agus Teguh W dkk, 2021). Istilah lain dari latihan

pliometri adalah pemendekan siklus peregangan (Lubis dalam Hasanah, 2013). Menurut Adams dalam Singh (2011), pliometri dapat berkontribusi pada peningkatan melompat, kecepatan, dan kekuatan otot. Prinsip metode latihan pliometri adalah kondisi dimana otot melakukan kontraksi baik saat memanjang (*eccentric*) maupun saat memendek (*concentric*) untuk menghasilkan sejumlah gaya yang besar dan *explosive* secara tepat.

Penggunaan analisis gerak kini semakin meluas seiring dengan meningkatnya tuntutan akan akurasi dalam bidang biomekanika. Konsistensi hasil pengukuran menjadi sangat penting untuk memastikan data yang diperoleh bersifat andal dan dapat dibandingkan. Oleh karena itu, berbagai perangkat lunak analisis gerak terus dikembangkan guna memenuhi standar tersebut. Salah satu sistem analisis gerak yang telah mapan dan banyak digunakan adalah Cortex, yang dianggap sebagai metode yang akurat dan tepat dalam menganalisis gerakan manusia. Namun, metode sistem ini rumit untuk analisis gerakan sederhana.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji keandalan perangkat lunak Kinovea dalam menganalisis kinerja drop jump yang dilakukan oleh atlet. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari perangkat lunak Cortex 6.0.0.1645 sebagai sistem motion capture berbasis optik dan Kinovea 0.8.25 sebagai perangkat lunak analisis video berbasis citra dua dimensi. Cortex merupakan sistem profesional yang mampu menangani seluruh tahapan motion capture mulai dari pengaturan awal, kalibrasi, pelacakan penanda reflektif, hingga pasca-pemrosesan data kinematik secara real-time (Motion Analysis Corporation, 2020).

Sementara itu, Kinovea merupakan perangkat lunak sumber terbuka (*open-source software*) yang dirancang khusus untuk analisis dan evaluasi gerakan olahraga. Keunggulan Kinovea terletak pada kemampuannya dalam melakukan pengamatan, pengukuran sudut dan jarak, pembuatan gambar komposit (*video overview*), serta perbandingan dua rekaman video secara simultan. Perangkat ini tidak memerlukan sensor fisik, melainkan hanya memanfaatkan perekaman video biasa yang kemudian dianalisis menggunakan fitur *frame-by-frame* (Puig-Diví et al., 2019).

Dengan kemudahan penggunaan dan keakuratan pengukuran yang relatif tinggi, Kinovea telah banyak digunakan untuk menilai kinerja biomekanik dalam olahraga, seperti analisis kecepatan, sudut sendi, dan efisiensi gerak. Beberapa studi menunjukkan bahwa hasil analisis Kinovea memiliki tingkat kesalahan yang rendah dibandingkan

dengan sistem motion capture profesional seperti Vicon atau Cortex, dengan variasi rata-rata di bawah 10% (Nor Adnan et al., 2018). Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk memverifikasi keandalan Kinovea dalam mendeteksi dan menganalisis gerakan drop jump, termasuk uji keterulangan (reliability test) dan hubungan sudut fleksi lutut terhadap ketinggian lompatan maksimum, guna menilai potensi perangkat ini sebagai alat penelitian biomekanika yang efisien dan ekonomis.

Penelitian ini juga mempertimbangkan pentingnya pengujian keterulangan (reliabilitas) dan korespondensi (agreement) antara perangkat lunak berbasis video 2D seperti Kinovea dengan sistem motion capture 3D profesional, dalam konteks analisis gerakan atletik seperti lompatan. Sebagai contoh, studi oleh Prieto-Diví dkk. menunjukkan bahwa Kinovea memiliki validitas dan reliabilitas yang baik dalam mengukur koordinat dan sudut dari berbagai perspektif hingga 45° terhadap kamera. Prieto-Diví, A Dkk (2019) Selain itu, studi oleh Nor Adnan dkk. membandingkan hasil analisis lompatan menggunakan sistem HD VideoCam + Kinovea dengan sistem Hawk-Cortex (sistem mocap). Mereka menemukan bahwa variasi rata-rata kurang dari 10%, mendukung bahwa setup video + Kinovea dapat menjadi alternatif yang andal dan lebih ekonomis. Kamaruddin, Dkk (2023).

Dalam konteks gerakan berupa Drop Jump, khususnya hubungan antara fleksi lutut saat pendaratan dengan ketinggian lompatan maksimum, literatur menunjukkan bahwa biomekanik pendaratan (termasuk sudut sendi dan waktu kontak tanah) berpengaruh signifikan terhadap performa. Sebagai contoh, Zhang et al. melaporkan bahwa pada drop jump, strategi pendaratan yang lebih dominan lutut (knee-dominant) menghasilkan indeks kekuatan reaktif (Reactive Strength Index, RSI) yang lebih tinggi dan sudut fleksi lutut yang berbeda dibandingkan strategi dominan pinggul (hip-dominant). Zhang, dkk (2025). Dengan demikian, dalam penelitian ini, selain mengevaluasi reliabilitas Kinovea, juga sangat penting untuk menguji apakah sudut fleksi lutut yang terukur (misalnya oleh Kinovea) berkorelasi signifikan dengan ketinggian lompatan maksimum menunjukkan relevansi fungsional dari pengukuran tersebut dalam konteks performa atlet.

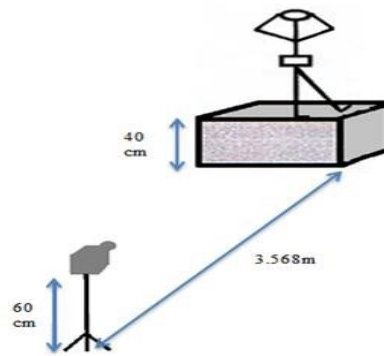
METODE PENELITIAN

Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan kualitas rekaman yang baik yaitu penangkapan gerak gerakan *drop jump*, secara bersamaan menggunakan sistem penangkapan gerak kamera infra merah dan HD VideoCam. Kemudian, data

pergerakan yang sama dilacak dan dianalisis menggunakan Cortex dan Kinovea. Sudut relatif lutut selama fase lompat jatuh diukur dan dianalisis. Sudut-sudut ini dibandingkan dengan sudut yang diukur menggunakan sistem penangkapan gerak yang sudah ada. Analisis statistik dasar dilakukan untuk menghitung mean, deviasi standar, dan varians. Data ini juga digunakan untuk menghitung persentase perbedaan dan varians. Untuk menghasilkan sistem yang andal, kedua nilai tersebut harus kurang dari 10%

Terakhir, dengan membandingkan hasil dan keluaran dari analisis statistik dasar, keandalan dan keakuratan HD VideoCam–Kinovea diukur dan dinilai. Selain itu, kelebihan dan keterbatasan sistem HD VideoCam–Kinovea dan Hawk–Cortex dibahas dan dirangkum.

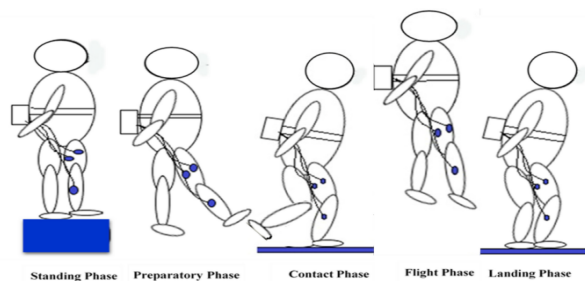
Sedangkan untuk parameter Kamera Video HD dan Perangkat Lunak Kinovea serta pengaturan eksperimental, Sony VideoCam digunakan untuk merekam gerakan lompat jatuh oleh subjek. Kamera ditempatkan pada tripod datar pada ketinggian 0,060m untuk memungkinkan pengambilan gambar lompatan yang baik dari ketinggian panggung 0,040m yang tegak lurus ke tengah jalur pada jarak 3,568m. Pengaturan ini memastikan bahwa area kalibrasi menutupi bagian bawah subjek (bidang pandang). Fokus dan aperture disesuaikan hingga sistem menghasilkan gambar 2D yang jernih dan tajam. Sedangkan untuk parameter dan pengaturan eksperimental Kamera HAWK dan Perangkat Lunak CORTEX, data gerakan 3 dimensi direkam menggunakan 6 kamera penangkap gerak inframerah digital Hawk; dengan kecepatan rekam 100 Hz, berdurasi 10 detik. Penanda #1 pada bingkai-L kalibrasi ditetapkan pada asal volume pengambilan yang diinginkan. Hubungan terjalin antara posisi dunia nyata (koordinat objek) dan koordinat gambar yang sesuai dari tampilan kamera. Posisi 6 kamera Hawk seperti diilustrasikan pada Gambar 2. F-Stop, angka perbandingan panjang fokus lensa dengan diameter aperture. F-stop pada kamera Analisis Gerak dikunci pada nilai optimalnya. Kamera dioperasikan sepenuhnya untuk melihat sebagian besar penanda.



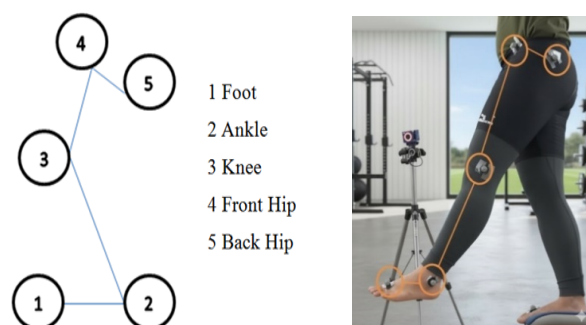
Gambar 1. Ilustrasi bidang yang dikalibrasi, posisi kamera, dan bidang pandang.

Experimental Protocols

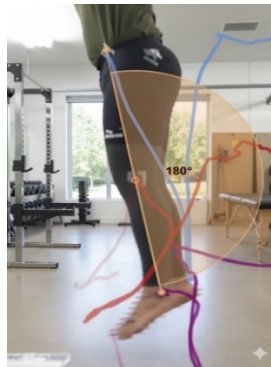
Hanya satu subjek yang digunakan dalam kasus ini. Subjek yang sehat tanpa gangguan gaya berjalan, usia 26 tahun (rata-rata BMI $28,60 \pm 1,40$) direkrut. Penanda ditempatkan pada bagian tungkai bawah masing-masing subjek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Subjek diminta untuk turun dari platform datar dan melompat dengan kecepatan alaminya dan mengulangi gerakan tersebut sebanyak 5 kali. Gerakan tersebut direkam secara bersamaan menggunakan sistem HD VideoCam – Kinovea dan Hawk – Cortex. Hasil dan data yang dikumpulkan dari dua sistem penangkapan gerak yang berbeda dibandingkan.



Gambar 2. Fase gerakan *drop jump*.



Gambar 3. Posisi penanda pada suatu subjek.



Gambar 4. Posisi heel up ditangkap oleh kamera digital HD dan ditampilkan di Kinovea.

Pelacakan Gerakan Menggunakan Kinovea

Kinovea digunakan untuk mengambil semua keluaran (gambar dan video) dari kamera Sony VideoCam. Semua rekaman video (file video) pertama kali diputar untuk memeriksa kesalahan yang jelas. Hasil tangkapan berkualitas rendah juga dibuang. Untuk video yang diterima, Kinovea digunakan untuk mencari dan menentukan kelima penanda utama (Gambar 2), yang prosesnya sangat mirip dengan pelacakan penanda menggunakan sistem penangkapan gerak inframerah. Kinovea melacak pergerakan penanda untuk keseluruhan penangkapan (gerakan lompat jatuh). Contoh prosedur pelacakan dan contoh keluaran pada lompatan ditunjukkan pada Gambar 4.

Angle Measurement

Gambar 4 menunjukkan contoh contoh (gambar) dari siklus lengkap fase lompat jatuh. Dengan menggunakan Kinovea, tiga titik (penanda) dipilih untuk mengukur sudut relatif pergelangan kaki [14] untuk setiap contoh. Penanda utama yang dipertimbangkan adalah lutut. Dua penanda lainnya termasuk dua penanda yang berdekatan dengan lutut. Dari 3 titik (penanda) ini, ditentukan sudut relatif lutut. Selama lompat jatuh, sudut relatif lutut berubah terhadap gerakan. Selain waktu, parameter penting yang ditentukan dalam penelitian ini adalah perubahan sudut terhadap fase pergerakan. Data disimpan menurut subjek dan uji coba. Sejak subjek melakukan 5 kali uji coba, secara umum 5 video telah dianalisis dan datanya disimpan untuk Analisis Pengulangan.

Repeatability Analysis

Untuk mengukur keterulangan sistem, protokol diulang sebanyak sepuluh kali, dimana setiap kali berjalan, gaya berjalan (gerakan berjalan) dicatat. Perbedaan persentase, nilai rata-rata, standar deviasi (S.D) dan varians dihitung menggunakan Persamaan. (1) ke Persamaan. (4).

$$\text{Percent Difference (\%)} = \left| \frac{\text{Value}_1 - \text{Value}_2}{\frac{1}{2}(\text{Value}_1 + \text{Value}_2)} \right| \quad (1)$$

$$\text{Mean (x)} = \frac{\sum x n}{n} \quad (2)$$

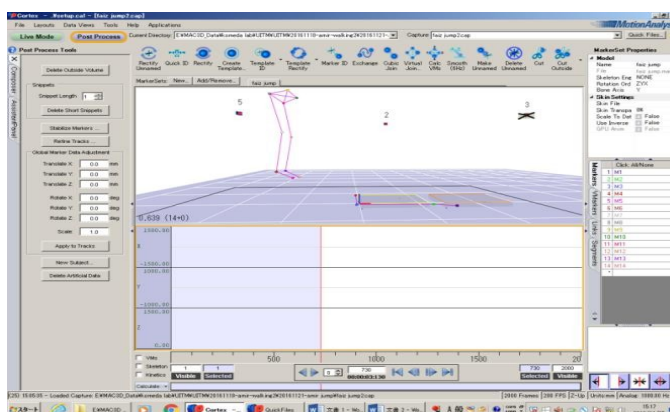
$$\text{Standard deviation (SD)} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$\text{Variances (SD}^2\text{)} = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data gerakan yang ditangkap menggunakan kedua sistem dilacak dan dianalisis menggunakan Cortex dan Kinovea. Gambar 5 menunjukkan contoh tangkapan seperti yang dapat dilihat di antarmuka Cortex. Secara umum menampilkan kerangka dan gerak berjalan.



Gambar 5. Posisi lompatan ditangkap oleh 6 kamera Hawk dan ditampilkan di antarmuka Cortex.

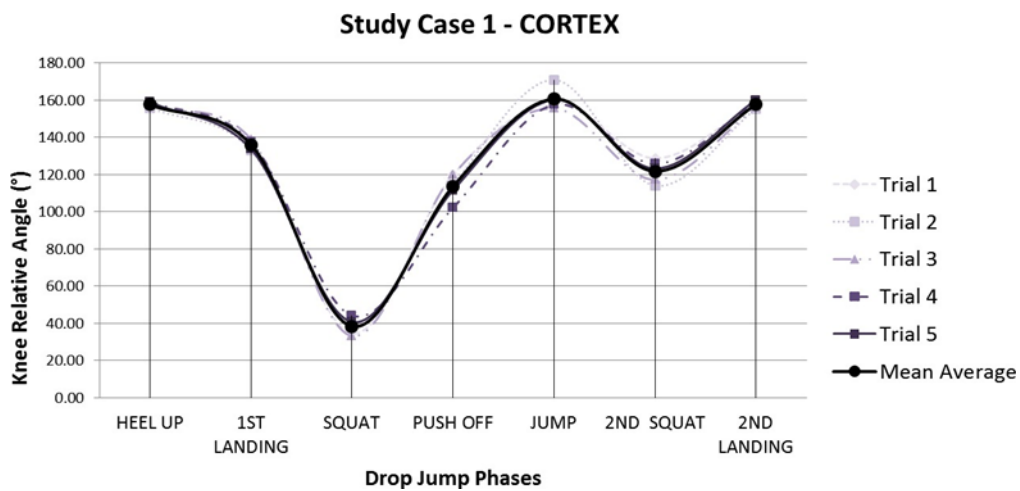
Gambar 4 menunjukkan sampel tangkapan seperti yang dapat dilihat di antarmuka Kinovea untuk contoh yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Sudut lutut relatif terdiri dari 7 fase gaya berjalan untuk total 5 percobaan diukur dari video yang dianalisis; dan datanya ditabulasikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Grafik terkait (Sudut Lutut Relatif Terukur,⁰) dari siklus gaya berjalan Cortex dan Kinovea seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 1. Statistik Dasar - Korteks (Sudut Lutut Relatif).

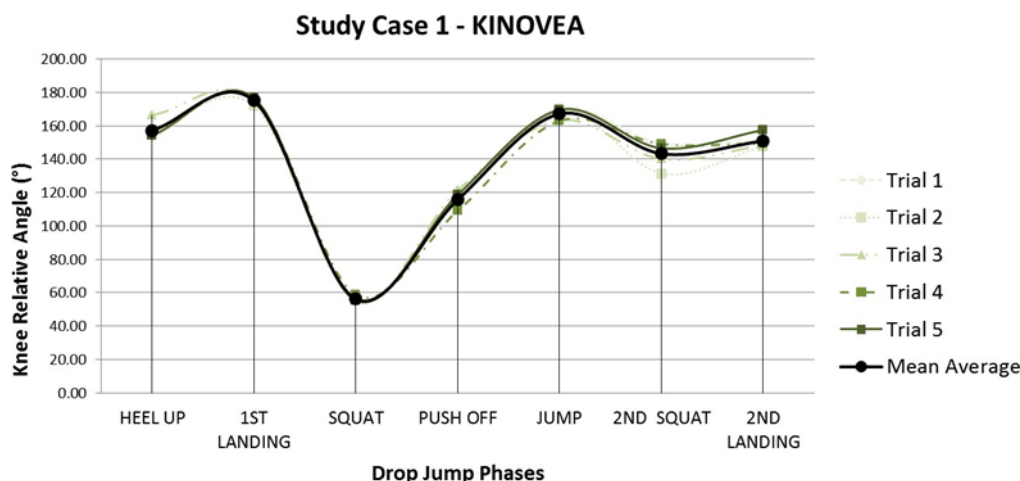
| CORTEX RELATIVE KNEE ANGLE | | | | | | | |
|----------------------------|---------|-------------|-------|----------|--------|-----------|-------------|
| PHASES | HEEL UP | 1ST LANDING | SQUAT | PUSH OFF | JUMP | 2ND SQUAT | 2ND LANDING |
| TRIAL 1 | 156.99 | 137.08 | 34.60 | 119.81 | 158.93 | 128.73 | 158.16 |
| TRIAL 2 | 155.83 | 132.93 | 39.01 | 114.43 | 170.88 | 113.97 | 155.39 |
| TRIAL 3 | 156.91 | 138.93 | 33.12 | 119.82 | 155.55 | 117.16 | 156.12 |
| TRIAL 4 | 159.12 | 137.50 | 44.11 | 102.08 | 157.54 | 125.65 | 158.79 |
| TRIAL 5 | 158.96 | 133.70 | 40.68 | 111.51 | 160.27 | 123.20 | 160.06 |
| AVERAGE | 157.56 | 136.03 | 38.30 | 113.53 | 160.63 | 121.74 | 157.71 |
| S.D | 1.28 | 2.31 | 4.01 | 6.56 | 5.35 | 5.44 | 1.72 |
| VARIANCE | 1.63 | 5.34 | 16.08 | 43.00 | 28.67 | 29.54 | 2.95 |

Tabel 2. Kinovea (Sudut Lutut Relatif).

| KINOVEA RELATIVE KNEE ANGLE | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-------------|-------|----------|--------|-----------|-------------|
| PHASES | HEEL UP | 1ST LANDING | SQUAT | PUSH OFF | JUMP | 2ND SQUAT | 2ND LANDING |
| TRIAL 1 | 153.12 | 175.41 | 55.74 | 115.82 | 169.88 | 149.19 | 151.72 |
| TRIAL 2 | 157.83 | 171.83 | 55.97 | 113.92 | 169.88 | 131.48 | 147.80 |
| TRIAL 3 | 166.46 | 175.06 | 55.24 | 121.29 | 163.46 | 140.13 | 148.36 |
| TRIAL 4 | 154.51 | 176.37 | 58.79 | 109.08 | 162.98 | 149.14 | 149.48 |
| TRIAL 5 | 154.26 | 176.58 | 55.43 | 118.55 | 169.59 | 146.61 | 157.49 |
| AVERAGE | 157.24 | 175.05 | 56.23 | 115.73 | 167.16 | 143.31 | 150.97 |
| S.D | 4.87 | 1.71 | 1.30 | 4.16 | 3.22 | 6.78 | 3.53 |
| VARIANCE | 23.72 | 2.91 | 1.69 | 17.29 | 10.37 | 45.92 | 12.44 |



Gambar 6. Sudut Lutut Relatif (°) dari siklus berjalan (Korteks) diukur.



Gambar 7. Sudut Lutut Relatif ($^{\circ}$) yang diukur pada siklus berjalan (Kinovea).

Grafik yang membandingkan pengukuran sudut lutut relatif gerakan *drop jump* menggunakan kedua sistem ditunjukkan pada Gambar 8. Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa Kinovea dan Cortex menunjukkan pola siklus berjalan yang serupa tetapi menunjukkan sedikit perbedaan dalam nilai puncaknya pada setiap fase berjalan.

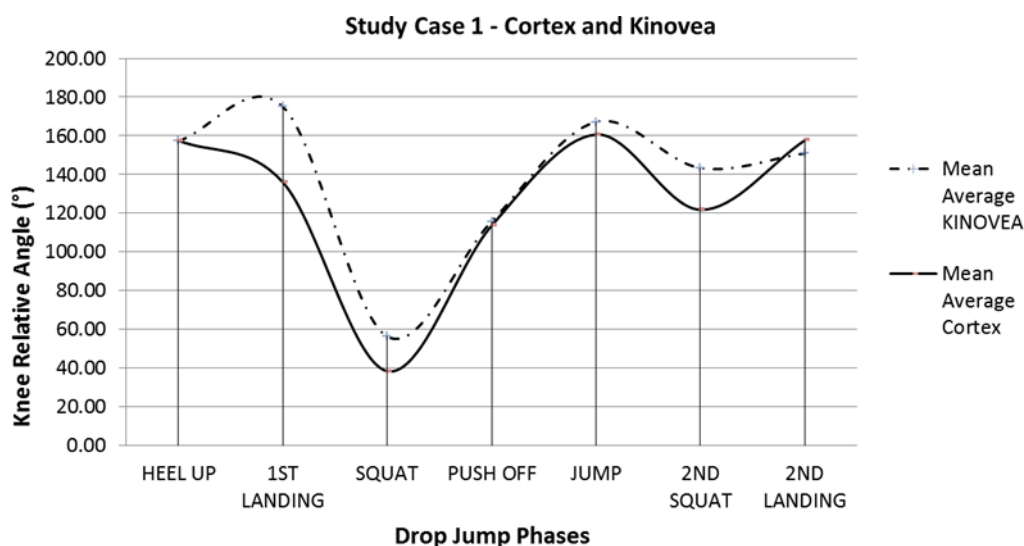
Sedangkan nilai puncak fase toe off menunjukkan perbedaan ketinggian yang paling menonjol antara Kinovea dan Cortex yaitu 56.23° dan 38.30° . Karena tujuan penelitian untuk studi kasus 1 ini adalah untuk membandingkan hasil sudut pergelangan kaki relatif antara Kinovea dan Cortex, perbedaan persentase yang ditabulasikan, % mengenai seluruh 7 fase gaya berjalan ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari Tabel 3, empat dari tujuh fase gaya berjalan terbukti memiliki perbedaan persentase kurang dari 10%. Perbedaan persentase harus kurang dari 10% kesalahan. Kriteria keterulangannya adalah variansnya harus kurang dari 10% [10]. Nilai persentase terendah sebesar 0,21% terjadi pada fase heel up, nilai tertinggi sebesar 37,93% pada fase jongkok diikuti sebesar 25,09% pada fase pendaratan pertama. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar kesalahan bersifat kecil dan dapat diterima. Dilihat dari hasil yang diperoleh, tingginya nilai error pada fase pendaratan ke-1, fase jongkok, dan fase jongkok ke-2 kemungkinan disebabkan karena waktu yang dibutuhkan untuk melakukan fase-fase tersebut lebih singkat dibandingkan fase-fase lainnya sehingga mempengaruhi video yang direkam. Pergerakan anggota badan yang lambat saat berdiri mengurangi keburaman, yang seharusnya memudahkan digitalisasi gambar karena kecepatan pengambilan dengan Kamera HD lebih rendah dibandingkan Kamera Hawk. Berdasarkan grafik, garis sudut lutut relatif yang diplot Cortex sedikit lebih rendah

daripada Kinovea di sebagian besar fase. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan jumlah data yang diperoleh dimana Cortex menghasilkan data dari 200 frame per detik sedangkan Kinovea menghasilkan data dari 50 frame per detik sehingga koordinat yang dihasilkan oleh Cortex lebih akurat. Oleh karena itu, Cortex dinyatakan menghasilkan akurasi dan presisi yang lebih tinggi dalam menganalisis gerakan.

Tabel 3. Rata-rata Sudut Lutut Relatif Terukur ($^{\circ}$) dari gerakan lompat jatuh.

| PHASES | HEEL UP | 1ST LANDING | SQUAT | PUSH OFF | JUMP | 2ND SQUAT | 2ND LANDING |
|---------------------------|---------|-------------|-------|----------|--------|-----------|-------------|
| AVERAGE KINOVEA | 157.24 | 175.05 | 56.23 | 115.73 | 167.16 | 143.31 | 150.97 |
| AVERAGE CORTEX | 157.56 | 136.03 | 38.30 | 113.53 | 160.63 | 121.74 | 157.71 |
| PERCENTAGE DIFFERENCE (%) | 0.21 | 25.09 | 37.93 | 1.92 | 3.98 | 16.27 | 4.37 |



Gambar 8. Sudut Lutut Relatif ($^{\circ}$) dari siklus berjalan (Korteks) diukur.

Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengukuran sudut lutut relatif menggunakan dua sistem analisis gerak, yaitu Cortex (dengan kamera Hawk) dan Kinovea (berbasis video 2D). Berdasarkan hasil tangkapan gerakan yang ditampilkan kedua sistem mampu merekam pola pergerakan tubuh manusia dengan baik. Antarmuka Cortex menampilkan model kerangka tiga dimensi, sedangkan Kinovea menampilkan citra dua dimensi berbasis video. Menurut Bartlett (2007), sistem analisis gerak 3D memiliki keunggulan dalam menangkap dinamika spasial dan temporal gerakan karena

mampu merekam posisi marker dari berbagai sudut kamera secara simultan. Dengan demikian, Cortex diharapkan memberikan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan Kinovea yang hanya mengandalkan satu bidang pandang kamera.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pola perubahan sudut lutut relatif dari kedua sistem memperlihatkan kecenderungan yang serupa dalam tujuh fase gaya berjalan. Data ini sejalan dengan temuan Winter (2009) yang menyatakan bahwa pola sudut sendi selama siklus berjalan cenderung konstan pada individu sehat dan dapat dijadikan acuan validitas sistem pengukuran. Meskipun demikian, terdapat perbedaan nilai puncak antara kedua sistem, khususnya pada fase toe off, di mana Kinovea menghasilkan nilai $56,23^\circ$, sedangkan Cortex hanya $38,30^\circ$. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh variasi frame rate dan resolusi temporal dari kedua sistem perekaman, di mana Cortex menggunakan 200 fps sedangkan Kinovea hanya 50 fps, yang berpengaruh terhadap ketelitian data gerakan cepat.

Selanjutnya, perbandingan statistik pada Tabel 3 menunjukkan bahwa empat dari tujuh fase gaya berjalan memiliki perbedaan kurang dari 10%, yang berarti masih berada dalam batas toleransi kesalahan yang dapat diterima (Richards, 2008). Perbedaan yang besar pada fase squat dan first landing mencapai 37,93% dan 25,09%, yang kemungkinan disebabkan oleh kecepatan perubahan posisi yang tinggi serta efek motion blur pada rekaman video Kinovea. Menurut Cappozzo et al. (2005), akurasi penentuan titik penanda dalam analisis video sangat bergantung pada kualitas gambar dan kecepatan rana kamera, sehingga gerakan cepat dapat menimbulkan kesalahan posisi koordinat.

Dari hasil penggambaran grafik (Gambar 8), terlihat bahwa garis sudut lutut relatif dari Cortex sedikit lebih rendah dibandingkan dengan Kinovea pada sebagian besar fase. Hal ini menunjukkan bahwa sistem berbasis 3D memiliki kecenderungan menghasilkan data sudut yang lebih konservatif dan presisi karena proses triangulasi spasial lebih akurat dibandingkan sistem 2D (Robertson et al., 2014). Sementara itu, perbedaan amplitudo pada Kinovea dapat diakibatkan oleh efek perspektif kamera tunggal yang menyebabkan distorsi posisi marker pada bidang gambar. Dengan demikian, ketepatan sistem 3D seperti Cortex lebih unggul terutama untuk analisis biomekanika yang memerlukan resolusi temporal dan spasial tinggi.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa baik Cortex maupun Kinovea dapat menggambarkan pola gerakan yang serupa, namun dengan perbedaan tingkat presisi. Kinovea tetap dapat digunakan sebagai alternatif alat analisis gerak

sederhana, terutama dalam pengajaran atau penelitian dengan keterbatasan biaya, sebagaimana dinyatakan oleh Pujianto (2019) bahwa perangkat lunak gratis seperti Kinovea cukup efektif dalam mengamati gerakan dasar olahraga. Namun, untuk penelitian biomekanika yang memerlukan presisi tinggi dan analisis tiga dimensi, sistem seperti Cortex lebih direkomendasikan karena memberikan akurasi dan keterulangan data yang lebih baik.

Selain mempertimbangkan aspek biaya dan kemudahan penggunaan, penting juga dicatat bahwa meskipun perangkat lunak seperti Kinovea menawarkan alternatif yang layak untuk analisis gerak dua dimensi, keterbatasannya harus diperhatikan ketika digunakan dalam penelitian yang memerlukan presisi tinggi, pengukuran sudut kecil, atau analisis multi-dimensi. Berdasarkan studi yang membandingkan Kinovea dengan sistem tangkap gerak tiga dimensi, ditemukan bahwa perbedaan pengukuran sudut antar sistem bisa mencapai sekitar $\pm 2,5^\circ$ hingga $\pm 5^\circ$ untuk sendi lutut/ankle. Fernández, dkk (2023). Hal ini berarti bahwa ketika variabilitas kecil atau perubahan halus dalam sudut fleksi lutut dianggap penting (seperti dalam analisis hubungan sudut fleksi lutut dengan ketinggian lompatan maksimum pada lompatan drop-jump), maka sistem berbasis sensor reflektif atau optik tiga dimensi seperti Cortex menjadi pilihan yang lebih reliabel dan direkomendasikan. Dengan demikian, penggunaan Kinovea sangat cocok untuk konteks pengajaran, evaluasi sederhana atau penelitian awal, namun untuk publikasi ilmiah yang memerlukan keandalan tinggi dalam biomekanika, sistem mocap profesional tetap menjadi standar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kedua sistem, Cortex dan Kinovea, mampu menampilkan pola gerak dan perubahan sudut lutut relatif yang serupa selama tujuh fase gaya berjalan maupun gerakan drop jump, menunjukkan bahwa keduanya memiliki kemampuan analisis gerak yang baik.
2. Cortex memberikan hasil yang lebih akurat dan presisi dibandingkan Kinovea, terutama karena menggunakan sistem multi-kamera berkecepatan tinggi (200 fps) dan metode pengambilan data tiga dimensi yang mampu mengurangi kesalahan spasial.
3. Perbedaan signifikan pada beberapa fase (seperti fase first landing dan squat)

disebabkan oleh durasi gerakan yang sangat cepat dan efek motion blur yang lebih berpengaruh pada sistem video 2D Kinovea.

4. Kinovea tetap layak digunakan sebagai alat bantu analisis gerak alternatif untuk kegiatan pembelajaran atau penelitian sederhana karena kesalahan rata-ratanya masih berada di bawah ambang batas 10% pada sebagian besar fase.
5. Secara umum, hasil penelitian ini mendukung bahwa Cortex lebih direkomendasikan untuk penelitian biomekanika profesional, sedangkan Kinovea cocok untuk aplikasi pendidikan, evaluasi dasar, dan observasi gerak olahraga.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Teguh W, R., Ikhwan Iskandar, Muh., & Fitria Yulianto, P. (2021). Implementasi Peningkatan Lompat Jauh Melalui Model Latihan Plyometrik (Vol. 2).
- Bartlett, R. (2007). *Introduction to Sports Biomechanics: Analysing Human Movement Patterns* (2nd ed.). London: Routledge.
- Cappozzo, A., Della Croce, U., Leardini, A., & Chiari, L. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry: Part 1. Theoretical background. *Gait & Posture*, 21(2), 186–196.
- Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors*, 20(11), 3154.
- Hasanah, M. (2013). *Pengaruh Latihan Pliometrik Depth Jump Dan Jump To Box Terhadap Power Otot Tungkai Pada Atlet Bolavoli Klub Tugumuda Kota Semarang* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- Kamaruddin, I., Dalle, A., Raehan, A. M., Musa, A., & Ade Triyenie, A. (2023). Analisis Gerak Biomekanika (Kinovea Software) untuk Mengembangkan Kemampuan Akurasi Shooting Sepakbola pada Mahasiswa... *Journal on Education*, 6(4).
- Motion Analysis Corporation. (2020). *Cortex Software: Powerful, flexible motion capture software for biomechanics, sports, animation, broadcasting, VR, and more*. Santa Rosa, CA: Motion Analysis Corporation.
- Nor Muaza Nor Adnan, Mohd Nor Azmi Ab Patar, Hokyoo Lee, Shin-Ichiroh Yamamoto, Lee Jong-Young, & Jamaluddin Mahmud. (2018). Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342(1)
- Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., & Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLoS ONE*, 14(6), e0216448.
- Prieto-Diví, A., Escalona-Marfil, C., Padullés-Riu, J. M., Busquets, A., Padullés-Chando, X., &

- Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLoS ONE*, 14(6), e0216448.
- Pujianto, A. (2019). Analisis Gerak Olahraga Menggunakan Aplikasi Kinovea. Yogyakarta: Penerbit Deepublish.
- Singh, B.. 2011. "Effects of a Short Term Plyometric training program Of agility in Young Basketball Players" *Brazilian Journal of Biomotricity*, v. 5, n. 4, p. 271-278, 2011 (ISSN 1981-6324).
- Richards, J. (2008). *Biomechanics in Clinic and Research: An Interactive Teaching and Learning Course*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Zhang, Q., Li, F., Trowell, D., Hou, M., Qiu, Z., Chen, S., & Ma, H. (2025). Optimizing stretch-shortening cycle performance: effects of drop height and landing strategy on lower-limb biomechanics in drop jumps. [Preprint/Journal].