

ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK SPRINT MENGGUNAKAN APLIKASI KINOVEA

Steven Natanael Tumanggor¹, Silvia Fauziah Nasution², M Fikri al Baihaqi Siregar³, Kezia Lase⁴, Muhammad Iqbal⁵, Alfi syahri⁶

Program Studi Ilmu Keolahragaan, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Alamat e-mail : steventumanggor2018@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to analyze kinematic angles in sprint movements using the Kinovea application based on the principles of sports biomechanics. The variables studied include the angles of the hip, knee in the initial phase of the swing, knee at ground contact, ankle at ground contact, ankle at release, and elbow angles. The analysis was carried out by observing video recordings of sprints frame-by-frame, then the measurement results were compared with the theoretical basis of various studies on sprint biomechanics. The analysis findings showed that all analyzed angles were within the ideal range for elite runners according to the literature, which proves that the subject's sprint technique is in accordance with biomechanical norms for fast movements. These results indicate that the Kinovea application has proven effective as a means of kinematic analysis in the process of learning and assessing sprint technique.

Keywords: biomechanics; running; sprint; kinovea; motion analysis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sudut-sudut kinematika dalam gerakan sprint menggunakan aplikasi Kinovea dengan berlandaskan prinsip biomekanika olahraga. Variabel yang dikaji mencakup sudut pinggul, lutut pada fase awal ayunan, lutut saat kontak dengan tanah, pergelangan kaki saat menyentuh tanah, pergelangan kaki saat melepas, dan sudut siku. Analisis dilaksanakan dengan cara mengamati rekaman video sprint secara frame-by-frame, lalu hasil pengukuran dibandingkan dengan landasan teori dari berbagai penelitian tentang biomekanika sprint. Temuan analisis menunjukkan bahwa semua sudut yang dianalisis berada dalam kisaran ideal untuk pelari elite menurut literatur, yang membuktikan bahwa teknik sprint subjek sesuai dengan norma biomekanika untuk gerakan cepat. Hasil ini mengindikasikan bahwa aplikasi Kinovea terbukti efektif sebagai sarana analisis kinematika dalam proses pembelajaran dan penilaian teknik sprint.

Kata Kunci: biomekanika; lari; sprint; kinovea; analisis gerak

A. Pendahuluan

Lari jarak pendek merupakan salah satu bentuk kompetisi dalam dunia olahraga atletik. Istilah lain yang sering digunakan untuk lari jarak pendek adalah sprint. Dalam menjalani lari jarak pendek, atlet dituntut untuk berlari dengan kecepatan tertinggi mereka pada jarak yang bervariasi, yaitu 60 meter, 100 meter, 200 meter, atau 400 meter. Dalam perlombaan ini, setiap pelari harus memaksimalkan kecepatan mereka untuk menyeberangi garis finish terlebih dahulu.

Sprint adalah salah satu jenis olahraga yang memerlukan kombinasi terbaik antara kecepatan, daya, koordinasi, dan efektivitas gerakan. Dalam ranah biomekanika, sprint dipahami sebagai serangkaian gerakan meledak dengan kecepatan tinggi yang dipengaruhi oleh kinematika dan kinetika tubuh atlet, terutama pada anggota tubuh bagian atas dan bawah. Tiap detik dalam sprint dapat berdampak langsung pada performa; kesalahan sekecil apapun dalam posisi sendi, postur tubuh, maupun pola gerakan lengan bisa mengakibatkan peningkatan gaya yang menghambat, kehilangan

elastisitas energi, atau berkurangnya gaya pendorong yang dibutuhkan untuk mencapai percepatan optimal. Oleh sebab itu, analisis biomekanika dalam sprint menjadi bagian krusial, bukan hanya untuk mendapatkan pemahaman tentang struktur gerakan, tetapi juga untuk menilai teknik atlet secara objektif.

Satu fenomena yang kerap terlihat di lapangan adalah adanya perbedaan mencolok antara teknik sprint yang diterapkan oleh atlet pemula, atlet yang sedang berkembang, dan atlet berprestasi, meskipun gerakan mereka tampak serupa secara visual. Pada atlet pemula, kesalahan-kesalahan minor seperti kurangnya fleksibilitas di pinggul, lutut yang terlalu tertekuk saat menyentuh tanah, atau gerakan lengan yang tidak stabil sering kali tidak disadari. Kesalahan-kesalahan tersebut mengakibatkan penurunan efisiensi energi yang secara langsung memengaruhi kecepatan maksimal. Sementara itu, atlet yang sudah berpengalaman umumnya menunjukkan pola gerakan yang lebih teratur, dengan sudut-sudut sendi yang mendekati standar biomekanika sprint di level elit, sebagaimana

diuraikan oleh Mann dan Murphy (2018), Morin et al. (2015), Hunter et al. (2004), serta peneliti sprint lainnya.

Kondisi aktual di lapangan menunjukkan bahwa mayoritas pelatih dan siswa di bidang ilmu olahraga masih bergantung pada pengamatan secara manual untuk mengevaluasi teknik sprint. Pendekatan ini bersifat individual dan memiliki batasan karena kecepatan dalam sprint yang sangat tinggi sulit untuk dinilai dengan tepat hanya melalui pengamatan langsung. Keterbatasan tersebut mengakibatkan banyak elemen kinematika yang signifikan tidak dapat diidentifikasi dengan baik, khususnya terkait sudut pinggul, lutut, pergelangan kaki, serta pola gerakan lengan. Dalam dunia pendidikan olahraga dan pelatihan atlet, ketidakmampuan untuk mengukur secara objektif menghambat perbaikan teknik secara optimal. Ini semakin diperburuk oleh fakta bahwa sprint berlangsung dalam waktu yang sangat singkat, sehingga setiap frame dalam video menyimpan informasi biomekanika yang penting yang tidak dapat ditangkap tanpa teknologi.

Dengan kemajuan teknologi, analisis gerakan yang berbasis video semakin relevan dan sering

diterapkan dalam studi biomekanika olahraga. Kinovea adalah salah satu perangkat lunak yang banyak dipilih oleh peneliti, pelatih, dan akademisi karena menyediakan fitur untuk mengukur sudut sendi, jarak, kecepatan, dan lintasan pergerakan dalam dua dimensi dengan akurasi yang baik. Program ini memungkinkan analisis yang objektif dan terstandarisasi tanpa memerlukan perangkat mahal seperti motion capture tiga dimensi. Oleh karena itu, Kinovea menawarkan solusi efisien dalam menilai tantangan biomekanika pada sprint, baik untuk keperluan pendidikan, penelitian, maupun penilaian performa atlet. Penggunaan aplikasi ini juga mendukung pendekatan ilmiah yang lebih mendalam dalam mengidentifikasi kesalahan teknik dan merancang program pelatihan yang tepat.

Fenomena
yang melatarbelakangi kajian ini adalah kebutuhan akan pemahaman yang lebih jelas tentang aspek-aspek kinematika sprint—terutama pada sudut pinggul, lutut, pergelangan kaki, dan siku—karena aspek-aspek

ini sangat krusial dalam menentukan seberapa efisien gerakan atlet. Misalnya, sudut pinggul yang kurang

dari 60 derajat dapat mengurangi panjang langkah, sedangkan sudut lebih dari 75 derajat dapat menyebabkan overstriding dan meningkatkan gaya penggereman. Begitu pula, sudut lutut selama fase ayunan, sudut lutut pada saat kontak dengan tanah, serta pergelangan kaki saat mendarat dan toe-off memiliki pengaruh signifikan terhadap pola gaya reaksi tanah dan besarnya impuls horizontal yang dihasilkan oleh pelari. Kesalahan kecil dalam sudut tersebut bisa menurunkan efektivitas gaya yang diciptakan oleh tubuh dan berimplikasi pada kecepatan maksimal. Selain itu, ayunan lengan juga penting untuk diperhatikan, karena menurut Hinrichs (1987), gerakan lengan sangat menentukan stabilitas tubuh dan memiliki peran signifikan dalam mempertahankan ritme langkah saat sprint.

Dengan pemahaman tersebut, penelitian ini mengarahkan perhatian pada analisis mendalam mengenai sudut-sudut kinematika sprint melalui rekaman video yang dianalisis dengan aplikasi Kinovea. Fokus penelitian ini adalah mengukur sudut pinggul pada fase swing peak, sudut lutut pada fase awal ayunan, sudut lutut saat kontak dengan tanah, sudut pergelangan kaki

pada saat mendarat dan toe-off, serta sudut siku pada fase ayunan lengan. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mendeskripsikan kualitas gerakan sprint berdasarkan sudut-sudut tersebut dan membandingkannya dengan standar biomekanika sprint menurut teori yang dikemukakan oleh para ahli. Diharapkan, hasil analisis ini bisa memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai kelebihan dan kekurangan teknik sprint yang diterapkan oleh subjek serta memberikan rekomendasi biomekanis untuk pelatih, atlet, dan peneliti.

oleh pelatih untuk meningkatkan teknik atlet menggunakan umpan balik visual

Manfaat dari studi ini sangat luas, terlihat dari sudut pandang akademis dan praktis. Dari segi akademis, penelitian ini menawarkan referensi empiris terkait cara sistematis menganalisis sudut-sudut sendi dalam sprint dengan memanfaatkan perangkat lunak Kinovea. Selain itu, studi ini juga memberikan ilustrasi penerapan analisis kinematika bagi mahasiswa di bidang ilmu keolahragaan yang sedang mempelajari biomekanika olahraga. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan

yang berbasis data. Para pelari juga dapat mengenali kesalahan yang tidak terlihat secara subjektif dan melakukan perbaikan berdasarkan indikator biomekanika yang valid.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memahami sudut-sudut kinematika utama dalam sprint pada beberapa momen krusial sehingga dapat dinilai berdasarkan standar biomekanika sprint yang sudah ada. Dengan menganalisis setiap fase gerakan dengan cermat, studi ini berupaya memberikan pemahaman menyeluruh tentang bagaimana teknik sprint subjek dibandingkan dengan kajian ilmiah serta bagaimana teknik tersebut bisa ditingkatkan. Oleh karena itu, penelitian ini berfungsi sebagai dasar yang krusial untuk mengembangkan teknik sprint yang lebih efisien dan terukur dengan bantuan teknologi analisis gerak.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif dengan analisis gerakan berbasis video menggunakan perangkat lunak Kinovea. Metode ini dipilih karena tujuan penelitian adalah untuk menjelaskan secara rinci ciri-ciri kinematika sprint melalui pengukuran

sudut sendi pada beberapa fase dalam gerakan. Analisis dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dengan mengukur sudut di setiap frame, tetapi juga bersifat deskriptif karena hasil yang diperoleh disampaikan dalam bentuk penjelasan biomekanika sesuai dengan teori yang ada. Metode ini dipandang efektif karena dapat memberikan pemahaman objektif mengenai teknik sprint tanpa memerlukan alat biomekanika mahal seperti motion capture tiga dimensi atau force plate.

Partisipan dalam penelitian ini merupakan seorang pelari sprint yang berlari di lintasan datar tanpa hambatan dalam kondisi normal. Pemilihan subjek dilakukan secara purposif berdasarkan kriteria kemampuan untuk melakukan teknik sprint dasar dengan baik sehingga setiap fase gerakan dapat terekam dengan baik. Subjek direkam menggunakan kamera digital yang ditempatkan secara lateral dengan sudut pandang 90 derajat terhadap arah pelari. Penempatan kamera yang tegak lurus ini penting untuk mengurangi distorsi perspektif dan meningkatkan akurasi pengukuran sudut pada bidang sagital. Jarak

kamera disesuaikan agar seluruh tubuh subjek tetap terlihat dalam bingkai tanpa terpotong visual saat pelari bergerak.

Proses perekaman dilakukan dengan kecepatan frame yang tinggi supaya setiap tahap gerakan bisa dianalisis dengan rinci. Dari perekaman, dipilih beberapa frame kunci yang mencerminkan fase-fase penting dalam siklus sprint, seperti fase swing peak, early swing, ground contact, initial support, toe-off, dan fase ayunan lengan. Pemilihan frame ini didasarkan pada studi biomekanika sprint yang menunjukkan bahwa perubahan sudut pada fase-fase tersebut memberi kontribusi terbesar terhadap kecepatan horizontal, durasi kontak tanah, dan keseluruhan efektivitas gerakan. Setiap sudut kemudian diukur dengan menggunakan fitur goniometri digital pada aplikasi Kinovea. Pengukuran dilakukan tiga kali untuk setiap sudut guna mengurangi kesalahan dan meningkatkan kehandalan data, dan hasil akhir diambil dalam bentuk rata-rata.

Variabel penelitian yang dianalisis meliputi sudut-sudut kinematika pada bagian bawah dan atas tubuh, yakni sudut pinggul pada

fase swing peak, sudut lutut pada fase early swing, sudut lutut saat kontak tanah, sudut pergelangan kaki saat kontak, sudut pergelangan kaki pada fase toe-off, serta sudut siku pada fase ayunan lengan. Setiap sudut dianalisis berdasarkan nilai yang didapat dari video dan dibandingkan dengan rentang sudut yang diusulkan dalam literatur biomekanika sprint yang tercantum dalam karya Mann dan Murphy (2018), Ae et al. (1992), Morin et al. (2015), Schache et al. (2014), dan Hinrichs (1987). Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui apakah teknik sprint subjek berada dalam rentang optimal secara biomekanis atau apakah ada penyimpangan yang mungkin mengurangi efisiensi gerakan.

Untuk menjamin validitas internal, pengukuran dilaksanakan dengan konsisten menggunakan sudut kamera yang serupa, jarak kamera yang konstan, serta posisi tubuh subjek yang sesuai dengan ruang gerak yang telah ditentukan. Keandalan pengukuran dijaga dengan melakukan pengulangan pengukuran serta pengecekan manual antar pengukuran dalam aplikasi tersebut. Proses analisis data berlangsung secara langsung dengan menafsirkan

hasil pengukuran berdasarkan teori biomekanika sprint yang sudah mapan. Data kuantitatif terkait sudut diinterpretasikan secara kualitatif melalui penjelasan mengenai fungsi biomekanis di setiap tahap gerakan dan dampaknya terhadap keseluruhan performa sprint.

Pendekatan kinematika dua dimensi dalam penelitian ini dianggap cukup memadai karena langkah cepat adalah gerakan yang kebanyakan berlangsung pada bidang sagital. Meski motion capture tiga dimensi menawarkan akurasi yang lebih baik, analisis dua dimensi menggunakan Kinovea telah terbukti mampu memproduksi pengukuran sudut yang akurat dan dapat dipercaya selama posisi kamera diatur dengan tepat. Selain itu, metode ini lebih mudah dilakukan dalam konteks pendidikan serta pelatihan olahraga, sejalan dengan tujuan penelitian yang ingin memberikan analisis yang bisa diperlakukan oleh pelatih, mahasiswa, dan praktisi olahraga dalam menilai teknik sprint.

Secara keseluruhan, rancangan metode penelitian ini diarahkan untuk menciptakan gambaran kinematika sprint yang tepat, terukur, serta memiliki dasar ilmiah yang dapat

dipertanggungjawabkan. Pemilihan pendekatan deskriptif kuantitatif, penggunaan teknologi berbasis video, pemilihan frame yang sesuai, serta perbandingan hasil pengukuran dengan standar biomekanika sprint menjadikan metode ini tangguh dalam mendukung tujuan penelitian, yaitu untuk menganalisis teknik sprint subjek secara mendalam dan mengidentifikasi aspek yang memerlukan perbaikan berdasarkan teori yang ada.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis biomekanika sprint yang dilakukan dengan aplikasi Kinovea dalam studi ini terpusat pada enam gambar utama yang menggambarkan fase-fase penting dalam siklus langkah pelari. Setiap gambar dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik gerakan yang berpengaruh signifikan terhadap efektivitas teknik berlari cepat, yakni fase swing peak, early swing, ground contact, initial support, toe-off, serta kontribusi gerakan lengan dalam menjaga keseimbangan tubuh. Dengan bantuan Kinovea, pemetaan sudut kinematika dapat dilakukan secara akurat, memungkinkan untuk analisis yang lebih mendalam yang dapat

dibandingkan dengan teori-teori biomekanika sprint terkini. Diskusi berikut tidak hanya memberikan rincian mengenai nilai sudut yang terukur, tetapi juga menerangkan maksud dari gerakan, implikasi biomekanis, kesesuaian dengan literatur ilmiah, serta potensi kelebihan dan kelemahan dari teknik yang ditunjukkan pelari.



Gambar 1.

Sudut pinggul saat paha naik (70.9°)

Dalam analisis frame pertama, terlihat bahwa sudut fleksi pinggul mencapai 70.9° saat fase swing peak. Fase ini merupakan puncak dari siklus ayunan kaki, ketika paha bergerak ke depan untuk bersiap melakukan kontak dengan permukaan. Berdasarkan kajian biomekanika sprint, pelari profesional umumnya menunjukkan sudut fleksi pinggul di kisaran 60° hingga 75° dalam fase ini. Menurut Mann dan Murphy (2018),

sudut fleksi pinggul yang tinggi berfungsi untuk mengoptimalkan panjang langkah tanpa mengganggu frekuensi langkah. Fleksi pinggul yang besar memungkinkan kaki berayun lebih cepat menuju depan, serta menciptakan posisi mekanis yang memadai untuk menempatkan kaki di bawah pusat massa (center of mass/COM) saat menapak tanah. Sudut 70.9° menunjukkan bahwa pelari mempunyai kemampuan baik dalam memanfaatkan fleksibilitas serta kekuatan otot-otot fleksor pinggul, terutama iliopsoas dan rectus femoris, yang berperan penting pada fase ayunan. Meski demikian, fleksi pinggul yang berlebihan dapat menimbulkan risiko overstriding jika tidak diimbangi dengan posisi tubuh yang benar. Overstriding dapat menambah gaya penggereman (braking force) yang dapat mengurangi kecepatan horizontal. Pada frame ini, sudut pinggul terlihat ideal dan tidak menunjukkan tanda-tanda gerakan yang berlebihan, sehingga dapat disimpulkan bahwa teknik yang diperlihatkan pada fase swing peak berjalan dengan baik.



Gambar 2.
Sudut lutut swing awal (45.7°)

Frame kedua menunjukkan sudut lutut sekitar $45,7^\circ$ pada fase awal ayunan. Fase ini terjadi segera setelah pengangkatan jari kaki, saat kaki bergerak ke belakang sebelum meluncur ke depan. Pada tahap ini, fleksi lutut sangat krusial karena berperan dalam mengurangi momen inersia pada tungkai. Menurut Ae et al. (1992) dalam penelitian mereka tentang pelari elit Jepang, sudut lutut antara 40° hingga 50° pada fase awal ayunan adalah gerakan yang efektif, mengurangi beban putaran pada bagian bawah tungkai. Hal ini memungkinkan kaki meluncur ke depan dengan kecepatan dan ringan. Fleksi lutut pada frame ini berada dalam kisaran yang optimal, yang menunjukkan bahwa pelari dapat melakukan pemulihan tungkai dengan baik, sehingga memperbolehkan

tercapainya frekuensi langkah tinggi tanpa penggunaan energi yang berlebihan. Gerakan ini juga mencerminkan kontrol neuromuskular yang baik, terutama dalam koherensi antara kontraksi hamstring yang eksentrik dan kontraksi fleksor pinggul yang konsentris. Namun, efektivitas fase ini sangat tergantung pada kemampuan pelari untuk melakukan ekstensi lutut secara tepat saat memasuki fase kontak. Ekstensi yang dilakukan baik terlalu cepat maupun terlalu lambat dapat menurunkan efisiensi penempatan kaki terhadap pusat massa.



Gambar 3.
Sudut lutut ground contact (157.6°)

Pada frame ketiga, sudut lutut yang terbentuk saat kaki menyentuh tanah mencapai $157,6^\circ$. Morin et al. (2015) mencatat bahwa sudut lutut

yang ideal saat fase kontak berkisar antara 150° hingga 165° . Sudut ini menggambarkan strategi biomekanika yang dikenal dengan sebutan stiffness tungkai, yakni kondisi di mana tungkai berfungsi sebagai pegas biologis yang cepat dalam menyimpan dan melepaskan energi elastis. Tingkat kekakuan pada tungkai sangat penting dalam sprint karena berhubungan dengan kemampuan pelari untuk mengurangi waktu kontak dengan tanah. Semakin cepat waktu kontak berkurang, semakin tinggi peluang pelari untuk menghasilkan gaya horizontal yang efisien. Lutut yang hampir lurus saat berhubungan dengan tanah memungkinkan pelari untuk meminimalkan deformasi sendi dan meningkatkan kemampuan tendon dalam berfungsi sebagai penyimpan energi elastis. Frame ini menunjukkan bahwa pelari memiliki stiffness lutut yang baik, yang menjadi indikator teknik sprint yang efektif. Namun, stiffness yang berlebihan tanpa dukungan fungsi otot eksentrik yang memadai pada hamstring dan quadriceps dapat meningkatkan risiko cedera, terutama pada tendon hamstring dan struktur di sekitar lutut. Oleh karena itu, pelari dengan pola

kontak seperti ini perlu memastikan bahwa otot-otot tersebut memiliki kapasitas eksentrik yang cukup untuk menyerap gaya reaksi dari tanah.



Gambar 4.
Sudut ankle saat kontak tanah (97.8°)

Frame keempat menunjukkan sudut pergelangan kaki mencapai $97,8^\circ$ pada saat mendaratnya kaki. Hunter et al. (2004) menjelaskan bahwa sudut dorsiflexion yang ringan dalam rentang 90° hingga 100° merupakan posisi yang optimal saat kaki menyentuh permukaan tanah untuk pertama kalinya. Dorsiflexion ini memperbolehkan kaki menyerap gaya reaksi dari tanah dengan tepat, sekaligus meminimalkan gaya penggeraman. Posisi pergelangan kaki yang netral dalam frame ini menunjukkan kesiapan mekanis dari pergelangan kaki dan tendon Achilles untuk menyimpan energi elastis yang

akan digunakan pada fase dorong selanjutnya. Selain itu, posisi pergelangan kaki yang netral dipengaruhi oleh aktivitas dua kelompok otot yaitu tibialis anterior dan gastrocnemius-soleus. Kedua otot tersebut bekerja sama untuk mengontrol kekakuan serta stabilitas pergelangan saat menerima gaya dari tanah. Kombinasi dari sudut pergelangan kaki yang tepat dan kekakuan lutut yang ideal menunjukkan bahwa pelari memiliki pola pendaratan yang efisien. Namun, keefektifan pengurangan gaya pengereman sangat tergantung apakah kaki mendarat tepat di bawah pusat massa tubuh. Ketika kaki mendarat terlalu jauh di depan pusat massa, bisa mengakibatkan gaya pengereman meskipun sudut pergelangan kaki berada pada kondisi yang ideal.

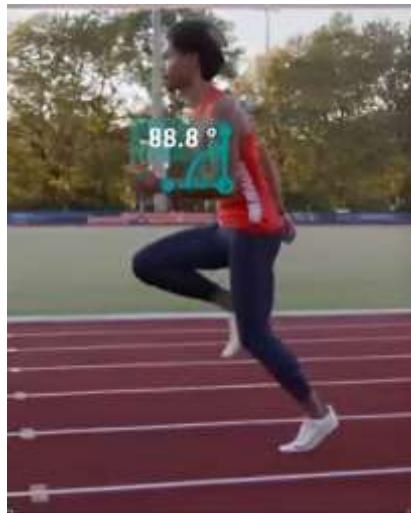


Gambar 5.

Sudut ankle toe-off (151.8°)

Pada frame kelima, sudut plantarflexion tercatat hingga 151.8° saat fase toe-off. Sudut plantarflexion ini menjadi indikator krusial dalam mengukur besaran gaya dorong yang dihasilkan oleh pelari. Schache et al. (2014) menyatakan bahwa sudut plantarflexion antara 150° dan 165° menunjukkan aktivasi yang kuat dari otot triceps surae dan kontribusi penting dari tendon Achilles dalam memantulkan energi. Toe-off yang kuat dan cepat memungkinkan pelari memproduksi gaya horizontal yang signifikan, mempercepat pusat massa tubuh ke arah depan, dan mempersiapkan kaki untuk memulai siklus ayunan berikutnya. Sudut plantarflexion yang dicapai dalam frame ini menunjukkan bahwa pelari memiliki mekanisme dorong yang efisien. Namun, pengukuran ini perlu dianalisis bersamaan dengan sudut pinggul dan lutut secara simultan karena ketiga sendi pada ekstremitas bawah bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan gaya dorong. Gaya dorong yang kuat pada pergelangan kaki harus diimbangi dengan ekstensi pinggul yang memadai agar gaya yang dicetak

dapat diarahkan dengan maksimal ke depan, bukan naik. Jika sinkronisasi ini tidak optimal, pelari dapat menghasilkan gaya vertikal yang berlebihan yang justru bisa mengurangi efisiensi akselerasi.



Gambar 6.
Sudut siku (88.8°)

Frame keenam menampilkan sudut siku 88.8° pada fase ayunan lengan. Hinrichs (1987) mengemukakan bahwa ayunan lengan berfungsi untuk mengatur ritme langkah serta menstabilkan rotasi tubuh. Sudut siku yang ideal adalah antara 60° hingga 110° , dan sudut yang ditunjukkan dalam frame ini menyiratkan bahwa pelari memiliki ayunan lengan yang efisien dan padat. Gerakan tangan yang baik berkontribusi dalam menciptakan keseimbangan untuk mengatasi rotasi pelvis serta tubuh akibat pergerakan

kaki. Ini sangat penting untuk mempertahankan stabilitas pusat massa ketika tubuh bergerak cepat ke depan. Sudut siku 88.8° menunjukkan bahwa ayunan lengan yang dilakukan adalah ekonomis dan bisa meningkatkan kecepatan fase ayunan kaki bagian bawah. Meski demikian, efektivitas dari ayunan lengan dipengaruhi oleh kondisi kelenturan otot bahu dan leher. Ketegangan di area tersebut dapat menimbulkan inefisiensi energi dan mengganggu koordinasi gerakan.

Secara keseluruhan, keenam frame yang dianalisis melalui perangkat lunak Kinovea menunjukkan bahwa atlet memiliki gaya sprint yang efektif, sejalan dengan teori biomekanika sprint yang terbaru. Seluruh sudut yang dicatat berada dalam rentang ideal dan mendukung fungsi mekanis dari masing-masing tahapan gerakan. Kombinasi antara fleksi pinggul yang tinggi, pemulihan lutut yang efisien, kekakuan lutut yang optimal saat menyentuh tanah, posisi pergelangan kaki netral saat menginjak, plantar fleksion yang kuat saat lepas, serta ayunan lengan yang kompak menandakan bahwa pelari telah menerapkan pola kinematika sprint

yang hampir mencapai kondisi optimal. Meskipun begitu, keberhasilan teknik sprint tidak hanya tergantung pada sudut-sudut yang ideal secara individual, melainkan juga pada koordinasi antar bagian tubuh. Kekuatan, kelincahan, dan koordinasi neuromuskular tetap memainkan peran krusial dalam meningkatkan efisiensi teknik ini. Penggunaan Kinovea terbukti menjadi alat yang ampuh untuk menganalisis setiap fase gerakan secara mendetail dan menyediakan gambaran objektif mengenai kelebihan serta potensi kelemahan dari teknik sprint pelari.

E. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa teknik sprint subjek, berdasarkan analisis sudut kinematika melalui aplikasi Kinovea, berada dalam batasan nilai biomekanis yang disarankan oleh literatur sprint terkini. Sudut pinggul pada fase puncak ayunan, sudut lutut saat awal ayunan, posisi lutut saat menyentuh tanah, sudut pergelangan kaki dalam fase kontak dan tolakan, serta sudut siku pada waktu ayunan lengan, semuanya mencerminkan pola gerakan yang efisien. Ini mengindikasikan adanya koordinasi yang baik antarsegmen tubuh,

pemanfaatan energi elastis yang efisien, serta kemampuan untuk menghasilkan gaya pendorong yang mendukung performa sprint.

Namun, keberhasilan sprint tidak hanya dipengaruhi oleh kebenaran sudut masing-masing, tetapi juga oleh sinkronisasi antarsegmen gerakan. Oleh karena itu, faktor-faktor seperti waktu transisi antar fase, stabilitas core tubuh, dan kekuatan eksentrik dari otot pendukung juga perlu diperhatikan agar performa sprint dapat mencapai potensi maksimal. Aplikasi Kinovea terbukti sebagai alat analisis yang handal dan efektif untuk mengevaluasi teknik sprint secara objektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ae, M., Ito, A., & Suzuki, M. (1992). The biomechanics of sprint running. *Japan Journal of Physical Education*, 37, 9–18.
- Debaere, S., Delecluse, C., Aerenhouts, D., Hagman, F., & Jonkers, I. (2013). From block clearance to sprint running: Characteristics underlying an effective transition. *Journal of Sports Sciences*, 31(2), 137–149.
- Hinrichs, R. N. (1987). *Upper extremity function in running*. In R. M. P. Crealock (Ed.), *International Series on Biomechanics*. Academic Press.

- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 261–271.
- Mann, R., & Murphy, A. (2018). *The Mechanics of Sprinting and Hurdling* (2nd ed.). CreateSpace Independent Publishing.
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680–1688.
- Morin, J. B., Samozino, P., Murata, M., Rymal, B., & Nagahara, R. (2015). A simple method for computing sprint acceleration kinetics from running velocity data. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(6), 659–668.
- Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., & Pandy, M. G. (2014). Biomechanical models for lower-limb muscle function in running. *Sports Biomechanics*, 13(3), 271–293.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991–1999.