

Implementasi Metode Grafik *Envelope* Berbasis *Blazepose* untuk Penilaian Objektif Gerakan *Push-Up*

Imam Muhammad Hakim¹⁾, Muhammad Zulfariansyah²⁾, Muhammad Fawaz Saputra²⁾

¹⁾Teknik Elektro, Universitas Mulawarman

²⁾Sistem Informasi, Universitas Mulawarman

E-mail: imamhakim@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Penilaian gerakan push-up sering kali bersifat subjektif, terutama saat digunakan dalam ujian atau kompetisi. Teknologi Human Pose Estimation (HPE) menawarkan solusi untuk penilaian yang lebih objektif, namun metode konvensional seperti Motion Capture (MoCap) memerlukan peralatan kompleks dan penanda khusus. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penilaian gerakan push-up secara objektif dengan memanfaatkan metode HPE tanpa penanda (markerless) menggunakan model Blazepose. Metode penelitian melibatkan perekaman 10 subjek yang melakukan push-up menggunakan sistem tiga kamera yang tersinkronisasi. Gerakan yang terekam kemudian dinilai oleh tiga ahli olahraga berdasarkan standar American College of Sports Medicine (ACSM) untuk menentukan gerakan yang benar. Model Blazepose digunakan untuk mendeteksi koordinat 2D sendi tubuh dari video, dan data dari 116 gerakan yang telah divalidasi sebagai benar digunakan untuk membuat grafik envelope sebagai acuan standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini berhasil membedakan gerakan push-up yang benar dan salah. Gerakan yang salah, seperti posisi bahu yang kurang turun, terdeteksi karena grafiknya berada di luar batas envelope yang telah dibuat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem markerless 2D MoCap menggunakan Blazepose dengan metode grafik envelope dapat menjadi alat yang valid untuk menilai gerakan push-up secara objektif.

Kata Kunci: *human pose estimation, push-up, blazepose, markerless, sport science*

ABSTRACT

The assessment of push-up movements is often subjective, especially when used in tests or competitions. Human Pose Estimation (HPE) technology offers a solution for more objective evaluation, but conventional methods like Motion Capture (MoCap) require complex equipment and special markers. This research aims to develop a system for objectively assessing push-up movements by utilizing a markerless HPE method with the Blazepose model. The research method involved recording 10 subjects performing push-ups using a synchronized three-camera system. The recorded movements were then evaluated by three sports experts based on the American College of Sports Medicine (ACSM) standards to identify correct form. The Blazepose model was used to detect 2D body joint coordinates from the videos, and data from 116 validated correct movements were used to create an envelope graph as a standard reference. The results show that the system successfully distinguished between correct and incorrect push-up movements. Incorrect movements, such as insufficient shoulder descent, were detected because their trajectory graphs fell outside the established envelope boundary. This study concludes that the markerless 2D motion capture system using Blazepose with the envelope graph method can serve as a valid tool for objectively assessing push-up movements.

Keyword: *human pose estimation, push-up, blazepose, markerless, sport science*

1. Pendahuluan

Gerakan Push-Up (PU) merupakan gerakan yang banyak dilakukan untuk mengembangkan otot pada bagian atas tubuh. PU populer karena bisa dilakukan dengan banyak variasi gerakan dan tanpa menggunakan alat. Push-up mampu membuat daya tahan otot tubuh bagian atas, terutama otot bahu (Bayrak & Baş Aslan, 2024; Dhahbi et al., 2022). Gerakan push-up terdiri dari banyak variasi atau tipe, yaitu Standard PU, Suspension PU, Incline PU dan Unstable PU. Setiap tipe gerakan PU memiliki keunggulannya masing-masing. Standard PU dan Incline PU memiliki keunggulan dalam melatih otot secara seimbang yaitu otot dada (pectoralis major), triceps, biceps dan bahu. Pada Incline PU, gerakan menjadi lebih mudah dilakukan, khususnya bagi pemula karena tumpuan tangan lebih tinggi dari pada

tumpuan kaki. Suspension PU dan Unstable PU memberikan rentang gerakan lebih luas sehingga akan mengaktivasi otot lebih intens dan lebih banyak melibatkan otot stabilisator (Kowalski et al., 2022). Banyaknya variasi gerakan PU memerlukan sebuah standar yang bisa digunakan untuk menilai apakah gerakan tersebut sudah benar atau tidak. Terutama jika PU digunakan sebagai sebuah bagian dari ujian atau perlombaan. American College of Sports Medicine menetapkan dalam bukunya standar gerakan melakukan PU yang bisa dijadikan sebagai standar penilaian.

Dalam ajang perlombaan atau ujian, penilaian gerakan PU dilakukan oleh penilai atau juri. Penilai atau juri adalah orang yang memiliki kemampuan atau sertifikasi yang dapat menilai gerakan PU. Dalam hal ini terkadang penilaian bisa saja menjadi subjektif karena penilai atau juri menilai dari sudut pandang mereka. Dalam berkembangnya teknologi, terutama pada bidang keolahragaan atau ilmu olahraga, terdapat suatu metode yang dapat digunakan untuk menilai atau menganalisis suatu gerakan dengan menggunakan kecerdasan buatan. Metode tersebut dikenal dengan Human Pose Estimation (HPE). Salah satu alat yang sering digunakan dalam HPE adalah motion capture (MoCap). MoCap menggunakan 9-16 kamera inframerah yang dipasang di dalam suatu ruangan dan merekam subjek yang akan dianalisis gerakannya. Pada tubuh subjek akan dipasangkan sebuah marker yang dapat memantulkan cahaya inframerah. Dari sinilah nantinya akan bisa didapatkan pose atau titik kerangka koordinat tubuh manusia sesuai dengan marker yang dipasangkan pada tubuh subjek (Kammerlander et al., 2021; Sun, 2022; Xin, 2023; Yang, 2025). Penggunaan MoCap memerlukan pelatihan khusus untuk pengoperasiannya. Saat ini, kecerdasan buatan banyak berkembang, khususnya dibidang Computer Vision.

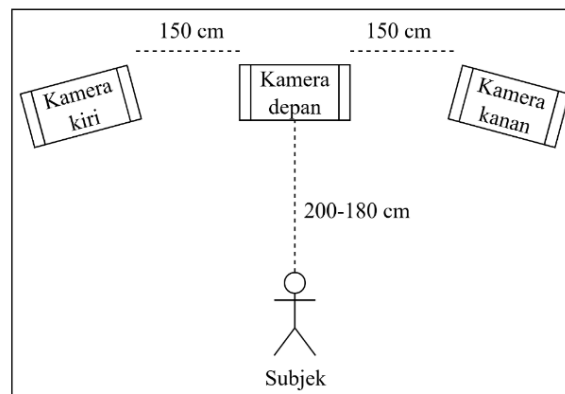
Berkembangnya kecerdasan buatan memudahkan manusia dalam melakukan banyak hal termasuk juga dalam melakukan penilaian gerakan manusia. Berkembangnya ini juga mempengaruhi HPE, di mana titik kerangka tubuh bisa didapatkan tanpa menggunakan marker seperti pada MoCap. Titik kerangka tubuh bisa didapatkan dengan menggunakan model kecerdasan buatan yang sudah dilatih. Beberapa model kecerdasan yang banyak yang digunakan untuk HPE adalah Openpose (Cao et al., 2019), Blazepose (Bazarevsky et al., 2020), dan MoveNet (Sengupta et al., 2019). Pemanfaatan HPE sangat beragam dengan menggunakan model tersebut, seperti menilai gerakan PU yang salah dan benar dan menghitung jumlah gerakan push-up (Park et al., 2020). Data yang digunakan oleh Park et al. adalah data parameter 2D dari Openpose. Metode Blazepose menunjukkan akurasi dan kecepatan yang lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya. Blazepose mendeteksi titik koordinat dua dimensi sendi manusia dari gambar ataupun video. Pada penelitian ini, Blazepose digunakan untuk mendeteksi titik koordinat dua dimensi sendi manusia yang akan digunakan untuk menilai gerakan push-up manusia.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, dibuat sebuah sistem untuk menilai gerakan push-up dengan menggunakan metode Human Pose Estimation (HPE) yang memanfaatkan kecerdasan buatan untuk mendeteksi titik koordinat 2D sendi tubuh pada gambar hasil tangkapan kamera. Hasil data akan dianalisis untuk menghasilkan grafik envelope yang akan digunakan sebagai standar dalam penilaian menggunakan sistem yang dibuat.

A. Pengambilan Data

Markerless motion capture terdiri dari tiga kamera yang merekam subjek secara bersamaan. Program telah dirancang sedemikian rupa sehingga kamera akan merekam secara sinkron. Kamera akan ditempatkan pada posisi seperti yang terlihat pada Gambar 1, di mana kamera merekam dari sudut yang berbeda, namun tetap menghadap ke depan. Tujuan dari penataan ini adalah untuk merekam sebanyak mungkin titik sendi tubuh agar analisis dapat dilakukan dengan lebih akurat. Jarak antar kamera adalah 150 cm, kamera kiri merekam tubuh bagian kiri, kamera kanan merekam tubuh bagian kanan, dan kamera depan merekam tubuh bagian depan. Jarak subjek ke kamera adalah antara 180 hingga 200 cm, yang merupakan titik tumpu kaki saat melakukan push-up.

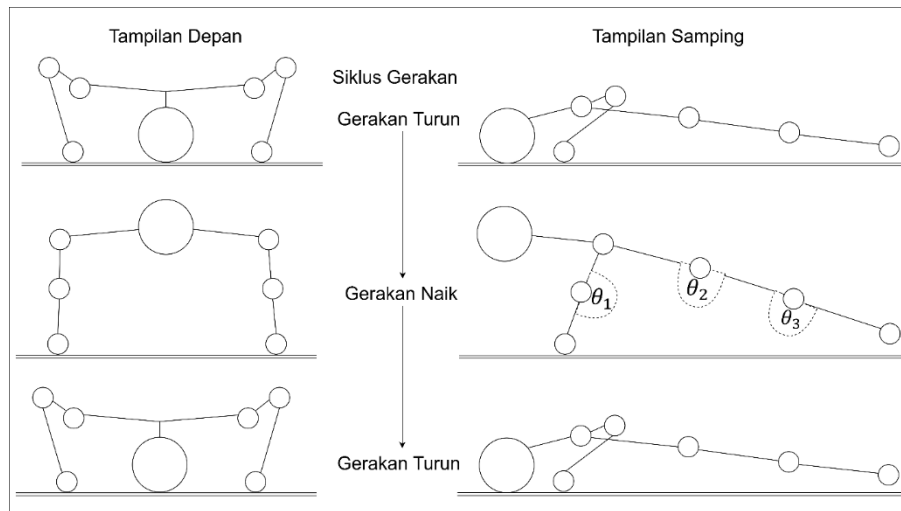


Gambar 1. Posisi kamera dan subjek ketika melakukan pengambilan data

Subjek akan diminta untuk melakukan push-up sebanyak yang dapat dilakukan dalam rentang waktu satu menit. Pengambilan data dilakukan dengan 10 subjek, dengan rata-rata usia 19,5 tahun. Ukuran tinggi badan subjek beragam, dengan rata-rata tinggi badan 169 cm. Hasil pengambilan data ini akan berupa tiga video dari kamera 1, kamera 2, dan kamera 3 untuk setiap subjek, sehingga total video yang diperoleh adalah 30 video. Sebelum pengambilan data, subjek akan diminta untuk mengisi formulir persetujuan (consent form) terkait penelitian ini. Data video dari 10 subjek nantinya akan dianalisis menggunakan sistem markerless 2D motion capture yang dikembangkan dalam penelitian ini. Selain itu, untuk menentukan apakah gerakan push-up yang dilakukan sudah memenuhi standar atau tidak, perlu dilakukan penilaian dari para ahli. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, tiga ahli di bidang olahraga, seperti instruktur olahraga dan dosen, akan menilai setiap video dan memutuskan apakah gerakan push-up yang dilakukan sudah sesuai dengan standar atau tidak..

B. Standar Gerakan Push-up

Dalam melakukan gerakan push-up terdapat standar yang perlu diikuti, begitu pula yang terjadi ketika kita melakukan uji atau seleksi yang menggunakan push-up sebagai standar penilaian. Pada penelitian ini standar yang digunakan adalah standar dari American Collage of Sports Medicine (ACSM) (Pescatello et al., 2014). Pada Gambar 2 dapat dilihat ilustrasi dari gerakan push-up yang sesuai dengan standar ACSM. θ_1 adalah sudut sikut, θ_2 adalah sudut pinggul dan θ_3 adalah sudut lutut. Satu siklus gerakan push-up dihitung ketika seseorang melakukan gerakan turun naik dan turun lagi seperti pada gambar, baru kemudian itu dihitung satu gerakan push-up. Posisi awal adalah telapak tangan selebar dengan bahu. Kemudian ketika melakukan gerakan turun, ketinggian sendi bahu harus lebih rendah dari sendi siku. Kemudian ketika melakukan gerakan naik, sebisa mungkin sudut θ_1 adalah 180 derajat atau tegak lurus. Sudut θ_2 dan θ_3 ketika melakukan gerakan turun dan naik sebisa mungkin harus tegak lurus. Standar ini lah nantinya yang akan digunakan oleh para ahli sebagai acuan dalam menilai gerakan push-up.



Gambar 2. Ilustrasi gerakan push-up berdasarkan standard ACSM

C. Markerless 2D Motion Capture (Blazepose)

Sistem yang dirancang pada penelitian ini menggunakan Blazepose untuk mendeteksi titik koordinat sendi tubuh manusia. Ketiga kamera juga akan dilakukan pengujian sinkronisasi, apakah ketiga kamera bisa merekam gerakan secara bersamaan dalam waktu yang sama. Tujuan dari ini nantinya agar pada saat analisis oleh ahli akan akurat dan hasil deteksi sistem juga akan akurat. Pada sistem markerless ini, Penilaian gerakan push-up nantinya tidak mengacu pada penilaian spasial, karena jika ingin melakukan penilaian spasial maka lebih baik dengan menggunakan data 3D. Sistem ini hanya menilai berdasarkan titik koordinat sendi yang tertangkap pada gambar yang didapatkan oleh setiap kamera dan menggunakannya untuk menilai gerakan push-up.

D. Posisi Sendi

Pada gerakan push-up, ada beberapa sendi yang bisa dijadikan acuan dalam menilai, seperti bahu, siku, pinggang dan lutut. Pada penelitian ini parameter yang menjadi acuan adalah koordinat pada sumbu Y. Dalam melakukan analisis nantinya akan dilihat nilai dari titik koordinat pada sumbu Y untuk setiap bagian sendi yang jadi acuan. Pada setiap kamera akan dilakukan deteksi titik koordinat 2D dan kemudian untuk koordinat sendi yang dijadikan acuan akan diambil koordinat pada sumbu Y nya dan dihitung rata-ratanya.

$$y_{sendi} = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$$

Posisi sendi nantinya akan dicari envelope dari semua data yang didapatkan dan digunakan sebagai batas atas dan batas bawah untuk grafik penilaian gerakan push-up.

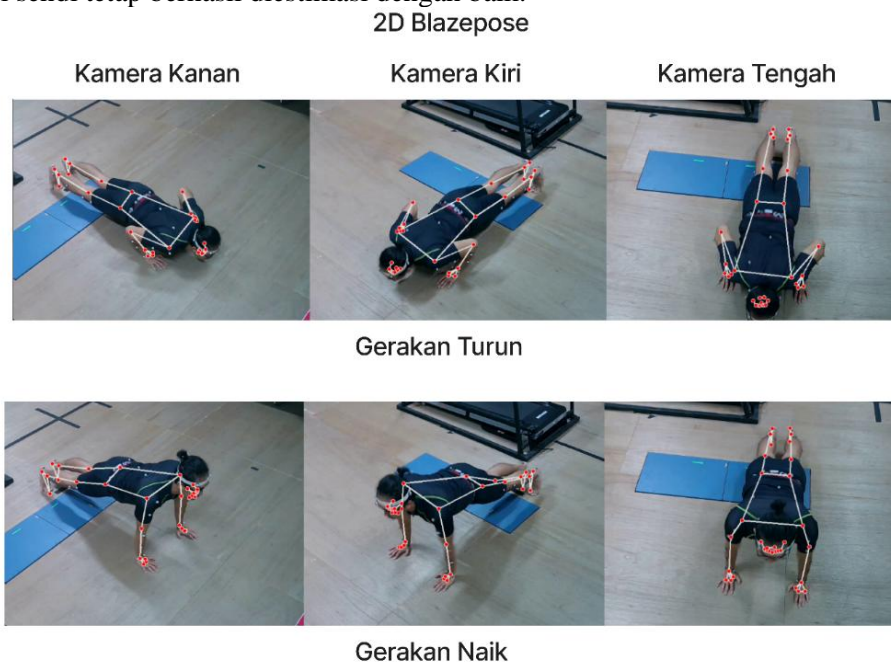
3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil pengujian sinkronisasi kamera, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3 di mana kamera merekam di waktu yang bersamaan. Hal ini menunjukkan bahwa sinkronisasi kamera berhasil. Pada saat melakukan perekaman dengan tiga kamera yang tersinkronisasi ini, frekuensi perekaman hanya bisa dilakukan 30 *frame per second* (FPS). Walaupun kamera yang digunakan bisa merekam hingga 60 FPS tetapi kecepatan perekaman terjaga di sekitar 30 FPS. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data, pada Gambar 4 dapat dilihat hasil pengambilan gambar dari ketiga kamera ketika subjek melakukan gerakan push-up dan titik koordinat 2D sendi menggunakan model Blazepose.



Gambar 3. Hasil tes sinkronisasi menggunakan stopwatch dan direkam menggunakan sistem yang dirancang

Pendeteksian titik koordinat 2D sendi menunjukkan hasil yang baik di mana semua bagian sendi berhasil dideteksi pada semua gambar dari masing-masing kamera baik ketika gerakan turun maupun gerakan naik. Konfigurasi tiga kamera terbukti efektif dalam menangkap data gerakan secara komprehensif. Sementara itu kamera tengah memberikan gambaran simetri tubuh dari atas, kamera kanan dan kiri menyajikan perspektif samping yang krusial untuk mengamati parameter kunci sesuai standar ACSM. Kamera kanan dan kiri memastikan apakah posisi bahu turun lebih rendah dari siku, detail yang sulit diukur secara akurat jika hanya satu sudut pandang kamera saja. Selain itu model Blazepose menunjukkan ketahanan terhadap oklusi parsial, di mana beberapa bagian tubuh mungkin terhalang, namun posisi sendi tetap berhasil diestimasi dengan baik.



Gambar 4. Hasil deteksi titik koordinat 2D menggunakan Blazepose dari ketiga kamera saat melakukan gerakan naik dan turun

Kemudian pada Tabel 1, dapat dilihat data mengenai jumlah push-up yang berhasil dilakukan oleh subjek dengan standar acuan dari ACSM. Hasil ini diperoleh berdasarkan penilaian tiga orang berdasarkan standar ACSM. Ketiga penilai akan menilai setiap gerakan push-up yang dilakukan oleh subjek, jika terdapat 2 atau lebih yang menilai gerakan benar, maka gerakan dianggap benar tetapi jika hanya satu yang menilai gerakan tersebut benar maka gerakan tersebut dianggap salah. Sehingga didapatkan total 116 gerakan push-up yang sesuai dengan standar ACSM. Semua 116 gerakan ini kemudian akan dianalisis dan digunakan untuk mendapatkan grafik envelope yang akan digunakan sebagai batas atas dan bawah dalam melakukan gerakan push-up yang benar.

Pada Gambar 5 dapat dilihat hasil grafik envelope yang sudah didapatkan berdasarkan data 116 gerakan push-up yang sesuai standar. Garis yang berwarna hijau adalah garis yang menunjukkan gerakan

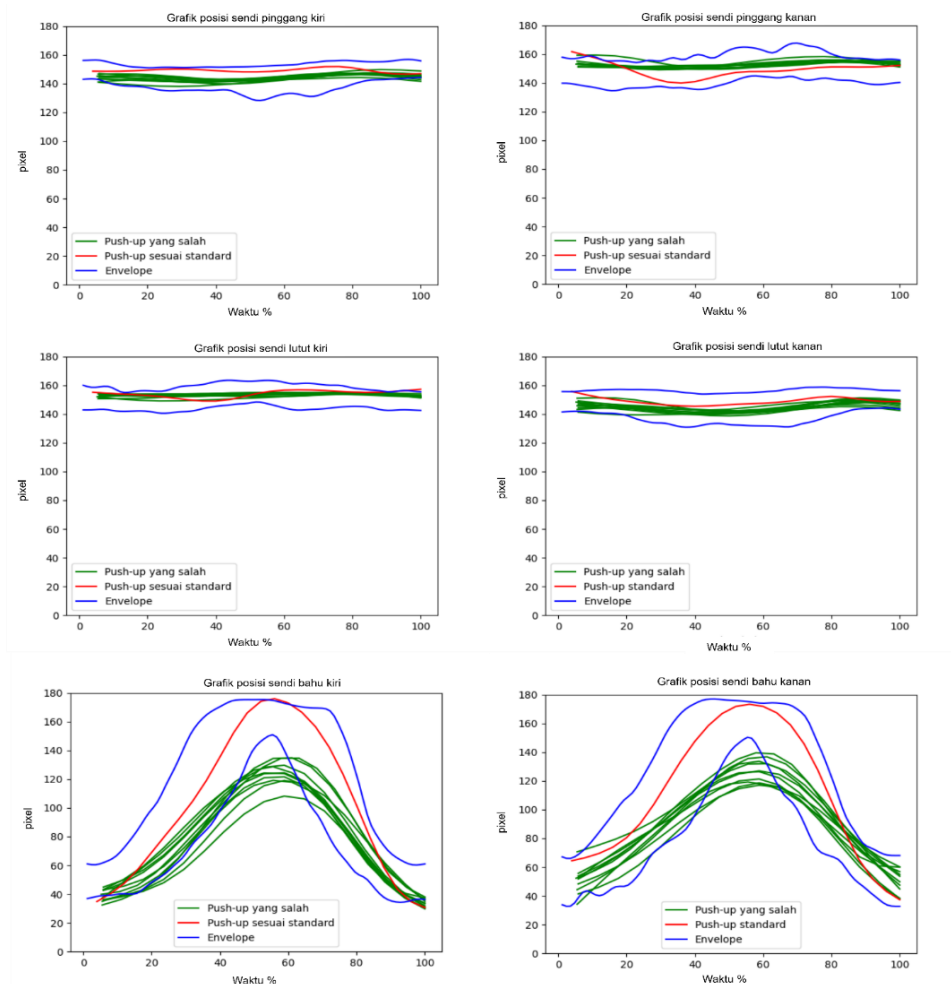
push-up yang salah, sedangkan garis yang berwarna merah adalah garis yang menunjukkan gerakan yang benar. Kemudian garis berwarna biru adalah garis envelope yang menjadi batas bawah dan atas dari standar gerakan push-up. Apabila seseorang melakukan gerakan push-up dan dinilai menggunakan sistem yang kami buat pada penelitian ini. Kemudian ketika dimasukkan kedalam grafik envelope ada data yang berada diluar dari garis envelope maka akan dinyatakan bahwa gerakan tersebut tidak sesuai dengan standar. Hal ini terbukti sesuai dengan Gambar 5.

Tabel 1. Data gerakan push-up yang berhasil dilakukan oleh subjek

Subjek	Jumlah Gerakan Berhasil Dilakukan (Sesuai Standar)
1	11
2	7
3	15
4	13
5	12
6	20
7	8
8	12
9	8
10	10
TOTAL	116

Gerakan push-up yang digunakan untuk gerakan yang tidak sesuai standar memiliki kesalahan yang dilakukan yaitu posisi bahu yang tidak terlalu turun melebihi posisi siku. Dapat dilihat grafik bahu kanan dan kiri pada Gambar 5, garis merah menunjukkan gerakan push-up yang benar dimana garis merah bergerak diantara garis batas envelope (garis berwarna biru). Sedangkan untuk gerakan yang salah (garis berwarna hijau) tidak berada diantara garis batas envelope. Pada posisi lutut dan pinggang, tidak terlihat adanya kesalahan ketika subjek melakukan push-up. Bisa disimpulkan bahwa ketika subjek melakukan gerakan push-up, terjadi satu kesalahan dimana saat melakukan gerakan push-up yaitu posisi bahu tidak lebih rendah dari posisi siku. Hal ini juga dikonfirmasi oleh penilaian para ahli dimana gerakan yang salah ini terjadi akibat posisi bahu yang tidak lebih rendah dibanding siku. Hasil ini menunjukkan bahwa grafik envelope bisa digunakan untuk melakukan penilaian gerakan push-up.

Keenam grafik yang disajikan secara kolektif pada Gambar 5 tidak hanya memberikan penilaian benar atau salah, tetapi juga mampu mengkuantifikasi dan mengisolasi tingkat kesalahan secara visual. Pada grafik posisi sendi bahu, dangkalnya kurva hijau yang merepresentasikan gerakan salah secara langsung menunjukkan kurangnya kedalaman gerakan, di mana semakin jauh puncaknya dari batas bawah envelope (garis biru bawah), semakin signifikan kesalahan yang terjadi. Keunggulan lain yang ditonjolkan adalah kemampuan sistem untuk membedah komponen gerakan secara spesifik. Grafik posisi pinggang dan lutut yang relatif datar dan berada di dalam envelope membuktikan secara kuantitatif bahwa kesalahan hanya terjadi pada sendi bahu, sementara postur tubuh lainnya telah stabil dan sesuai standar. Kemampuan untuk mengisolasi sumber kesalahan ini memberikan diagnostik yang jauh lebih detail dibandingkan penilaian visual holistik oleh mata manusia. Selain itu, normalisasi sumbu horizontal (Waktu %) memungkinkan perbandingan bentuk gerakan dari berbagai repetisi yang mungkin memiliki kecepatan berbeda, sehingga envelope yang dihasilkan benar-benar merepresentasikan standar bentuk gerakan yang ideal, terlepas dari tempo pelaksanaannya. Secara keseluruhan, Gambar 5 mendemonstrasikan bagaimana metode envelope berhasil mengubah data deret waktu dari koordinat sendi menjadi sebuah alat diagnostik yang kuat dan objektif.



Gambar 5. Hasil grafik envelope sebagai batas standar penilaian menggunakan sistem

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menjawab tujuan untuk mengembangkan sistem penilaian gerakan push-up yang objektif dengan memanfaatkan metode Human Pose Estimation (HPE) tanpa penanda (markerless). Sistem yang dibangun menggunakan model Blazepose dengan konfigurasi tiga kamera terbukti mampu mendeteksi titik koordinat sendi secara akurat dan konsisten. Metode grafik envelope, yang dibuat berdasarkan 116 gerakan yang telah divalidasi oleh para ahli, terbukti efektif sebagai standar acuan untuk membedakan antara gerakan push-up yang benar dan yang salah. Temuan utama menunjukkan bahwa gerakan yang tidak memenuhi standar, khususnya pada kedalaman bahu yang kurang, memiliki data lintasan (trajectory) yang secara jelas berada di luar batas envelope yang telah ditetapkan, sementara postur tubuh lain seperti pinggang dan lutut tetap berada di dalam rentang standar.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah demonstrasi bahwa sistem markerless 2D motion capture dapat menjadi alternatif yang valid dan lebih mudah diakses dibandingkan dengan teknologi motion capture 3D tradisional untuk analisis gerakan spesifik. Metode envelope tidak hanya memberikan penilaian biner (benar/salah), tetapi juga berfungsi sebagai alat diagnostik kuantitatif yang mampu mengisolasi sumber kesalahan gerakan dengan presisi. Implikasinya, sistem ini memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam bidang ilmu keolahragaan, baik sebagai alat bantu juri dalam kompetisi untuk mengurangi subjektivitas, maupun sebagai alat umpan balik (*feedback*) dalam sesi latihan untuk membantu atlet memperbaiki teknik gerakan secara data-driven dan lebih efisien..

5. Daftar Pustaka

Bayrak, G., & Baş Aslan, U. (2024). 10-week suspension and traditional push-up training: Comparison the effects on physical performance in young men. *Science & Sports*, 39(2), 186–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.05.001>

- Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., & Grundmann, M. (2020). *BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking*. <http://arxiv.org/abs/2006.10204>
- Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E., & Sheikh, Y. (2019). *OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields*. <http://arxiv.org/abs/1812.08008>
- Dhahbi, W., Chaabene, H., Chaouachi, A., Padulo, J., G Behm, D., Cochrane, J., Burnett, A., & Chamari, K. (2022). Kinetic analysis of push-up exercises: a systematic review with practical recommendations. In *Sports Biomechanics* (Vol. 21, Issue 1, pp. 1–40). Routledge. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1512149>
- Kammerlander, R. K., Pereira, A., & Alexanderson, S. (2021). Using Virtual Reality to Support Acting in Motion Capture with Differently Scaled Characters. *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 402–410. <https://doi.org/10.1109/VR50410.2021.00063>
- Kowalski, K. L., Connelly, D. M., Jakobi, J. M., & Sadi, J. (2022). Shoulder electromyography activity during push-up variations: a scoping review. *Shoulder & Elbow*, 14(3), 325–339. <https://doi.org/10.1177/17585732211019373>
- Park, H.-J., Baek, J.-W., & Kim, J.-H. (2020). Imagery based Parametric Classification of Correct and Incorrect Motion for Push-up Counter Using OpenPose. *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1389–1394. <https://doi.org/10.1109/CASE48305.2020.9216833>
- Pescatello, L. S., Arena, R., Riebe, D., & Thompson, P. D. (2014). *ACSM'S Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. www.acsm.org
- Sengupta, A., Jin, F., Zhang, R., & Cao, S. (2019). *mm-Pose: Real-Time Human Skeletal Posture Estimation using mmWave Radars and CNNs*. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2991741>
- Sun, K. (2022). Research on Dance Motion Capture Technology for Visualization Requirements. *Scientific Programming*, 2022(1), 2062791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2022/2062791>
- Xin, Z. (2023). The existing motion capture technologies and their application. *Applied and Computational Engineering*, 13(1), 7–12. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/13/20230702>
- Yang, J. (2025). *Analysis of Motion Capture Technology Research and Typical Applications*. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/112/2024.17920>