

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Olahraga merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat modern, tidak hanya sebagai sarana rekreasi tetapi juga sebagai media peningkatan kesehatan fisik dan sosial. Partisipasi masyarakat dalam berbagai cabang olahraga terus meningkat dari tahun ke tahun, yang tercermin dalam data global dan nasional. Menurut *Badminton World Federation (BWF)*, bulutangkis memiliki basis penggemar global sekitar 709 juta orang dan 392 juta peserta aktif (Report, 2023). Tren ini menunjukkan bahwa olahraga bulutangkis diminati tidak hanya oleh kalangan profesional, tetapi juga masyarakat umum yang menggunakannya sebagai aktivitas rekreasi dan pendidikan.

Kondisi ini juga tercermin secara lebih spesifik di Inggris, di mana partisipasi bulutangkis pada periode November 2023 -November 2024 tercatat sebanyak 317.700 perempuan dewasa (usia 16+), yang bermain minimal dua kali dalam 28 hari terakhir, mengalami kenaikan sekitar 12% dibandingkan tahun sebelumnya (dari 284.200 orang pada 2022–2023) (Sport England, 2025). Pertumbuhan ini menandakan peningkatan minat terhadap olahraga yang memiliki intensitas gerak cepat dan kompleks. Perkembangan partisipasi ini juga sejalan dengan pertumbuhan industri pendukungnya, khususnya pasar peralatan bulutangkis global yang mencapai nilai USD 1,72 miliar pada 2023 dan diperkirakan meningkat menjadi USD 3,19 miliar pada 2031 dengan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk (CAGR) sebesar 11,6% se lama 2024-2031 (V. M. Research, 2024). Fakta tersebut menunjukkan bahwa olahraga bulutangkis bukan hanya aktivitas fisik, tetapi juga memiliki potensi ekonomi yang signifikan, menciptakan peluang untuk inovasi teknologi di bidang analisis performa atlet dan pengembangan sistem evaluasi gerakan.

Perkembangan teknologi modern, terutama kecerdasan buatan dan deep learning, memungkinkan pemanfaatan analisis performa berbasis video untuk mendukung

evaluasi teknik, pencegahan cedera, serta penyusunan strategi latihan (Deng, 2025; Lai & Fang, 2025). Namun, olahraga raket seperti bulutangkis menuntut sistem pelacakan gerakan yang mampu menangkap perubahan posisi dan orientasi tubuh secara cepat dan akurat, terutama untuk gerakan dengan karakteristik kompleks seperti *smash*, *dropshot*, dan *long serve*. Pengenalan gerakan berbasis citra RGB masih memiliki keterbatasan karena sensitif terhadap pencahayaan, sudut kamera, dan gangguan visual dari latar belakang, sehingga dapat menurunkan akurasi klasifikasi gerakan (Xu et al., 2025).

Sebagai alternatif, pendekatan *skeleton-based* atau kerangka tubuh tiga dimensi menawarkan keunggulan signifikan dalam stabilitas dan presisi pengenalan gerakan tanpa marker fisik tambahan (Fauziah et al., 2018; Fukushima et al., 2024). Data *skeleton* ini memungkinkan analisis gerakan yang lebih fokus pada koordinasi sendi, mengurangi pengaruh gangguan visual, serta menangkap variasi gerakan halus yang sulit ditangkap oleh metode berbasis *frame RGB*.

Sejumlah penelitian terdahulu telah menguji berbagai metode *action recognition* pada olahraga bulutangkis. Evaluasi pada dataset VideoBadminton menunjukkan bahwa metode *state-of-the-art* seperti PoseC3D dan ST-GCN masih memiliki ruang untuk peningkatan akurasi, khususnya dalam menangkap konteks temporal jangka panjang dan variasi gerakan halus pada pukulan-pukulan bulutangkis yang berkecepatan tinggi (Li et al., 2024). Lebih jauh, tinjauan literatur terbaru mengungkapkan bahwa pemanfaatan data pose (*skeleton*) untuk analisis performa mendalam di olahraga raket—seperti klasifikasi pukulan (*stroke classification*) yang memadukan informasi *spatio-temporal*—masih merupakan area yang belum banyak dieksplorasi, meskipun sangat menjanjikan (Tan et al., 2024)

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan model hibrida berbasis estimasi pose yang mengintegrasikan *Gated Recurrent Unit (GRU)* dengan mekanisme *Transformer*. Integrasi ini dirancang untuk secara sinergis menangkap pola temporal berurutan (via *GRU*) dan dependensi *spatio-temporal* jangka panjang serta global (via *Transformer*), yang dihipotesiskan dapat mengatasi keterbatasan arsitektur sebelumnya. Keefektifan komponen *Transformer* dalam memodelkan

hubungan temporal telah dibuktikan pada data bulutangkis (Ibh et al., 2023), dan pendekatan spatial-temporal transformer juga menunjukkan performa unggul pada analisis gerakan skeleton olahraga lainnya (Liang et al., 2025; Peng et al., 2023).

Berdasarkan landasan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan model komputasi canggih yang memanfaatkan data urutan pose. Model hibrida GRU-Transformer diusulkan sebagai solusi teknis baru untuk mengekstrak fitur spatio-temporal yang kaya guna pelacakan dan klasifikasi jenis gerakan bulutangkis secara otomatis dan objektif. Kelayakan pendekatan berbasis data pose dalam konteks analisis performa olahraga nyata telah didemonstrasikan oleh studi terkini (Santiano et al., 2025). Diharapkan, model yang dikembangkan tidak hanya dapat meningkatkan akurasi klasifikasi gerakan, tetapi juga memberikan kerangka kerja (framework) analitik yang dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem analisis performa yang lebih komprehensif di masa depan, seperti sistem evaluasi kuantitatif (scoring) dan aplikasi dalam skenario pelatihan multi-subjek.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan kajian literatur dan observasi terhadap penelitian terdahulu, diperoleh beberapa masalah berikut:

1. Belum diketahui model arsitektur mana yang paling efektif (dalam hal akurasi, stabilitas, dan robustness) untuk klasifikasi gerakan bulutangkis berkecepatan tinggi di antara pendekatan skeleton-based (ST-GCN, PoseC3D), sequential-based (GRU), dan hybrid (GRU-Transformer).
2. Kinerja model action recognition sangat sensitif terhadap skema pembagian data, namun belum ada kajian komparatif yang sistematis tentang dampaknya terhadap berbagai arsitektur model dalam konteks bulutangkis.
3. Potensi arsitektur hybrid GRU-Transformer untuk analisis gerakan bulutangkis belum dieksplorasi dan dibandingkan secara empiris dengan baseline yang ada, khususnya dalam menangani variasi gerakan dan stabilitas klasifikasi.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja komparatif model GRU, model Hybrid (GRU-Transformer), ST-GCN, dan PoseC3D dalam mengklasifikasikan tiga gerakan dasar bulutangkis (Dropshot, LongServe, dan Smash)?
2. Manakah di antara keempat model tersebut yang menunjukkan akurasi, stabilitas, dan performa paling tinggi dan menunjukkan kinerja paling stabil (robust) di berbagai skenario pembagian data?
3. Bagaimana pengaruh variasi skema pembagian data (training, testing, validation) terhadap kinerja akhir dari masing-masing arsitektur model?

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membangun dan mengimplementasikan empat model deep learning (GRU, Hybrid GRU-Transformer, ST-GCN, dan PoseC3D) untuk klasifikasi gerakan bulutangkis berbasis data skeleton 3D 33 keypoints.
2. Melakukan evaluasi komparatif yang komprehensif terhadap keempat model tersebut berdasarkan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score.
3. Menganalisis pengaruh berbagai skema pembagian data terhadap stabilitas dan kinerja model untuk memberikan rekomendasi praktis.

### 1.5 Manfaat Penelitian

#### 1.5.1 Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis sebagai berikut:

- Memberikan kontribusi pada pengembangan arsitektur hibrida *deep learning* berbasis *spatial-temporal feature fusion* antara GRU dan Transformer untuk fine-grained action recognition pada olahraga raket.

- Menjadi referensi empiris bagi penelitian yang mengombinasikan Pose Estimation dan model sekuensial dalam konteks analisis performa olahraga, khususnya dalam menangani tantangan occlusion dan efisiensi komputasi untuk aplikasi real-time.

### 1.5.2 Manfaat Praktis

- Mengembangkan prototipe sistem analisis performa bulutangkis berbasis video yang efisien, akurat, dan berpotensi untuk diterapkan secara near-real-time.
- Memberikan alat bantu objektif bagi pelatih dan atlet untuk mengevaluasi kualitas teknik gerakan (*dropshot*, *long serve*, *smash*) secara kuantitatif, sehingga dapat mendesain latihan yang lebih terukur.
- Menjadi studi kasus dan referensi teknis bagi pengembang sports technology yang mengintegrasikan pose estimation dan temporal.

### 1.6 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Data berupa video gerakan bulutangkis dengan tiga jenis pukulan utama, yaitu *smash*, *drop shot*, dan *long serve*.
2. Ekstraksi pose menggunakan MediaPipe 33 keypoints, menghasilkan koordinat 3D dari tubuh pemain.
3. Model yang dikembangkan adalah hybrid Pose Estimation–GRU–Transformer tanpa menggunakan sensor tambahan seperti IMU.
4. Evaluasi performa model didasarkan pada akurasi, precision, recall, F1-score, dan confusion matrix.
5. Implementasi *real-time* dilakukan secara simulatif melalui Streamlit, bukan pada sistem pelatihan profesional langsung.
6. Penelitian berfokus pada *single-player* movement guna meminimalkan noise dan *occlusion* akibat interaksi antar pemain.
7. Penelitian ini tidak menerapkan augmentasi data sintetis, fokus penelitian berada pada evaluasi arsitektur model, bukan optimasi variasi data.

## 1.7 Mata Kuliah

Penelitian ini didukung oleh beberapa mata kuliah yang menjadi dasar teori dan praktik dalam pengembangan model hibrida berbasis Pose Estimasi, GRU, dan Transformer, yaitu:

1. Pengolahan Citra
2. Deep Learning
3. Algoritma dan Pemrograman
4. Machine Learning
5. Kecerdasan Artifisial
6. Data Science
7. Statistika dan Probabilitas

