

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pertama menjelaskan secara ringkas identifikasi celah penelitian dalam topik biomekanika dan kebutuhan solusi Estimasi GRF dan Posisi CoP untuk mengisi celah penelitian tersebut.

1.1 Latar Belakang

Analisis biomekanika dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dari jaringan otot sendi dan tulang. Analisis biomekanika dapat digunakan pada pengaturan klinis untuk analisis kinetik seperti menentukan asimetri pemuatan bilateral atau koreksi bedah pra/pasca operasi. Selain itu, analisis biomekanika digunakan juga untuk analisis gaya berjalan manusia yang membutuhkan koordinasi dari berbagai sistem sensorik dan sistem neuromuskular untuk keseimbangan dan orientasi spasial. Secara umum analisis biomekanika bertujuan untuk meningkatkan performa, mengurangi cedera, dan meningkatkan kualitas hidup secara keseluruhan (Arendra and Akhmad, 2018; Banyam and Rakpongsiri, 2025; Jamali, Chou and Catena, 2025).



Gambar 1.1 *Force plate* (Advanced Mechanical Technology, Inc. 2025)

Force plate sebagai salah satu alat untuk analisis biomekanika digunakan untuk mengetahui *ground reaction force* (GRF) atau gaya reaksi lantai dan posisi *center of pressure* (CoP) yang terjadi karena gerakan manusia. *Ground reaction force* merupakan gaya eksternal yang terjadi pada tubuh manusia dari lantai, *center of pressure* merupakan posisi dari gaya reaksi lantai yang terjadi. GRF merupakan salah satu faktor penting untuk mengevaluasi gerakan manusia dalam biomekanika. *Force plate* digunakan juga pada rehabilitasi dan ilmu olah raga. Pada umumnya, *force plate* didukung struktur dengan strain gauges sebagai elemen sensor atau *loadcell*. *Force plate* dengan standard laboratorium biasanya terdiri dari *loadcell* enam sumbu yang tertutup dalam kotak persegi panjang datar,

yang mengukur tiga dimensi GRF dan momen. Kemudian CoP dihitung berdasarkan GRF dan momen. Baik GRF dan CoP diperlukan untuk menentukan gaya dan torsi yang terjadi pada tubuh manusia dalam analisis biomekanika (Kawasaki, Ogawa and Takahashi, 2024; YEO *et al.*, 2025).

Penelitian biomekanika secara internasional menggunakan alat ukur yang terukur langsung dengan komputer menggunakan beragam sensor untuk mendeteksi variabel-variabel biomekanika, menghasilkan penelitian kuantitatif dengan data yang dapat dipertanggung-jawabkan. Analisis data dapat dilakukan saat pengukuran berlangsung karena sensor langsung terhubung dengan komputer untuk menjalankan perhitungan analisis secara realtime saat itu juga.

Kesenjangan penelitian biomekanika di Indonesia dengan pencarian artikel publikasi dengan kata kunci “Biomekanika” dalam portal Garuda yang mengindeks publikasi di jurnal-jurnal nasional terakreditasi menunjukkan 171 dokumen. Setelah dilakukan filter dokumen yang tersedia naskah lengkapnya, memberikan 46 artikel yang dapat diunduh. Dalam proses pengunduhan ditemukan beberapa artikel yang terindeks ganda. Hasil akhir memberikan 39 artikel unik terkait penelitian biomekanika di Indonesia. Dari 39 artikel yang terindeks portal Garuda, ditemukan hanya 2 penelitian yang menjalankan penelitian biomekanika secara real-time kuantitatif yakni penelitian yang ditulis oleh Afiah (2017) dan Herdiman et al (2012), namun penelitian ini dilakukan di negara Jepang. Perekaman menggunakan instrumen ini mampu melakukan analisis data-data gerakan, posisi, kecepatan, dan percepatan secara realtime. Perekaman data dengan cara ini mampu menangkap variabel-variabel dinamika gerak secara realtime dengan tepat.

Tabel 1 Penelitian biomekanika secara kuantitatif di Indonesia pada portal Garuda

No	Instrument pengukuran	Nomer artikel dan judul artikel	keterangan
1	Motion Capture	7) Pendekatan Biomekanika pada Analisa Pengaruh Usia terhadap Karakteristik Gerak Berjalan untuk Individu Usia Lanjut (2017) Irma Nur Afiah	Perekaman data dan analisis data gerakan, posisi, kecepatan, percepatan secara realtime

		11) Kajian Biomekanika Untuk Jalan Cepat Terhadap Rancangan Knee Joint Sistem Energy Storing Mekanisme 2 Bar Pada Kaki Prosthetic Endoskeletal Bagi Amputee Transfemoral (2012) Lobes Herdiman, Retno Wulan Damayanti, dan Zulfa Miftakhul Faiz	Perekaman data dengan cara ini mampu menangkap variable-variabel dinamika Gerak secara realtime.
2	Lantai timbangan dengan 4 <i>loadcell</i>	29) Analisis Biomekanika Pergerakan Pinggul Penari Bapang (2020) Dino Nofianto, Muhammad Agus Sahbana, Nurida Finahari 31) Analisis Komparasi Aspek Gerak dan Biomekanika Tari Gandrung Banyuwangi dan Balet Klasik (2021) Nurida Finahari, Gatut Rubiono	Informasi data berat dari <i>loadcell</i> dan Lokasi berat dari kamera birdview dicatat secara manual. Perhitungan data urutan waktu dilakukan secara manual Pendekatan perekaman data secara stopmotion menghasilkan analisis data yang mendekati realtime

Ditemukan juga 2 penelitian yang melakukan perekaman data kuantitatif secara stop-motion menggunakan lantai timbangan dengan 4 *loadcell* yang ditulis oleh Nofianto et al (2020) dan Finari & Rubiono (2021). Informasi data berat dari *loadcell* dan lokasi berat dari kamera birdview dicatat secara manual, perhitungan data urutan waktu dilakukan secara manual. Pendekatan perekaman data secara stop-motion menghasilkan analisis data yang mendekati realtime, meskipun dengan upaya yang besar.

Dari 39 artikel yang direview, ditemukan 15 penelitian kuantitatif atau kurang dari setengahnya, namun pengukuran data dilakukan secara statis berdasarkan tangkapan gambar video atau foto. Pengukuran dan perhitungan data dilakukan secara manual sehingga tidak mampu menunjukkan variabel-variabel dinamika gerak. Pengukuran ini hanya mampu memberikan analisis statis, informasi perubahan variabel terhadap waktu menjadi tidak dapat ditemukan dan tidak dapat digunakan dalam analisis dinamika gerak. Diantara 15

artikel sebelumnya, tujuh diantaranya melakukan pengukuran sudut berdasarkan gambar tangkapan foto atau video tanpa menghitung proyeksi ruang 3D pada bidang 2D. Pengukuran ini dapat dipastikan menghasilkan pengukuran sudut yang salah.

Sementara itu lebih dari separuh, lebih tepatnya 20 dari 39 artikel penelitian, penelitian biomekanika ini menghimpun data secara kualitatif, yakni dengan menggunakan metode wawancara, kuesioner, dan observasi yang rawan terhadap bias subyektif. Sebagaimana mestinya, biomekanika adalah cabang ilmu yang menggabungkan prinsip-prinsip mekanika dengan studi sistem biologis, seperti tubuh manusia untuk menganalisis gaya internal maupun eksternal yang mempengaruhi gerakan dan fungsinya. Bukti-bukti ini menunjukkan kesenjangan penelitian biomekanika yang seharusnya, yakni analisis kuantitatif berdasarkan variabel-variabel terukur. Namun di Indonesia penelitian biomekanika menjadi penelitian kualitatif karena ketiadaan alat ukur yang memadai.

Sebagai solusi dari kesenjangan metode penelitian biomekanika tersebut, maka dibangun model estimasi yang mampu mengukur besar GRF kaki kanan dan kaki kiri serta mampu menentukan posisi CoP kaki kanan dan kaki kiri menggunakan perangkat terjangkau. Desain *force plate* yang dikembangkan dalam penelitian ini mengakomodasi estimasi ground reaction force (GRF) dan posisi center of pressure (CoP) kaki kanan dan kaki kiri menggunakan dua *force plate* kembar yang masing masing dilengkapi dengan 3 tumpuan *loadcell*. Dengan dilakukannya penelitian ini maka akan memberikan manfaat berupa model fisik matematik untuk estimasi dari GRF dan koordinat posisi CoP yang teruji secara teoritis dan empiris dan juga sebagai dasar pengembangan hardware dan software teknologi pengukuran GRF dan koordinat posisi CoP yang valid.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagai penelitian fundamental tahap awal perancangan dan pembuktian konsep instrumentasi *force plate*, masalah penelitian yang harus dicari solusinya adalah:

1. Bagaimana kebenaran akurasi dan presisi pengukuran *loadcell* terhadap alat ukur pembanding?
2. Apakah perubahan susunan *loadcell* tidak memberikan perbedaan terhadap estimasi GRF dan koordinat posisi CoP?
3. Apakah model estimasi GRF dan koordinat posisi CoP dengan asumsi berat *force plate* diabaikan tidak berbeda dengan model estimasi GRF dan koordinat posisi CoP dengan menyertakan berat *force*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan hasil rumusan masalah yang di sebutkan diatas, dihasilkan tujuan penelitian, sebagai berikut:

1. Menguji kebenaran akurasi dan presisi pengukuran *loadcell* terhadap alat ukur pembanding.
2. Menguji perbedaan estimasi GRF dan koordinat posisi CoP dengan perbedaan konfigurasi *loadcell* susunan X dan susunan O.
3. Menguji perbedaan estimasi GRF dan koordinat posisi CoP dengan perbedaan asumsi berat platform.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk menghindari adanya pelebaran maupun penyimpangan pokok masalah agar penelitian ini dapat menjadi lebih terfokus, terarah, dan terkelola. Batasan masalah juga mencegah penelitian meluas ke dalam aspek yang tidak relevan, memastikan penelitian bisa diselesaikan secara efektif.

1. Asumsi osilasi *loadcell* diabaikan. Penelitian ini tidak membahas respon transien dan respon dinamik pengukuran. Skripsi ini hanya meneliti respon pengukuran steady-state atau kondisi equilibrium statis.
2. Asumsi gaya yang dominan dalam pengukuran *force plate* adalah gaya vertikal sumbu Z. sehingga batasan masalah gaya-gaya horizontal sumbu X dan sumbu Y tidak dibahas dalam penelitian ini. Untuk memenuhi asumsi ini. Kaki *force plate* dilengkapi dengan pengatur kedataran untuk menjamin permukaan yang datar, meminimalisir proyeksi gaya horizontal dan konstruksi beban pembanding diatur supaya dapat berdiri vertikal seimbang diatas satu kaki karet dengan diameter 36 mm.

3. Penelitian ini dibatasi tidak membahas pengembangan user interface software aplikasi dan pengembangan rangkaian papan circuit. Dapat diasumsikan bahwa konsep pengukuran masih perlu diuji secara teoritis dan empiris, sebelum mengembangkan prototype teknologi instrumentasi berdasarkan model konsep ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai penelitian fundamental tahap awal perancangan dan pembuktian konsep instrumentasi *force plate*, penelitian ini bermanfaat untuk:

1. Memberikan model fisik matematik untuk estimasi GRF dan koordinat posisi CoP yang teruji secara teoritis dan empiris, sebagai dasar pengembangan hardware dan software teknologi pengukuran GRF dan koordinat posisi CoP yang valid.
2. Memberikan basis data awal untuk kurva kalibrasi setup pengukuran GRF dan koordinat posisi CoP.
3. Memberikan basis data awal untuk penilaian karakteristik statis setup pengukuran GRF dan koordinat posisi CoP.
4. Memberikan setup awal pengumpulan data untuk penilaian karakteristik dinamis pengukuran GRF dan koordinat posisi CoP.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan ini menjabarkan sistematika penulisan yang terdiri dari beberapa bab, sebagai berikut:

Bab pertama menjelaskan secara ringkas identifikasi celah penelitian dalam topik biomekanika dan kebutuhan solusi Estimasi GRF dan Posisi CoP untuk mengisi celah penelitian tersebut. Dalam bab ini juga dinyatakan 3 tujuan penelitian, kontribusi penelitian ini dalam mengisi celah penelitian tersebut, asumsi yang digunakan dan batasan masalah yang tidak dicakup dalam skripsi Model Estimasi Posisi CoP Menggunakan Twin *Force plate* Susunan *Loadcell Majemuk* (Susunan Parametric Reconfigurable).

Bab kedua, Dasar teori dan kajian pustaka terbagi dalam dua bagian, sub-bab konstruksi teori dan sub-bab kajian pustaka. Dalam sub-bab konstruksi membahas teori yang mendasari Model Estimasi GRF dan Posisi CoP menggunakan Twin *Force plate*. Dibagian konstruksi ini dijelaskan bagaimana model estimasi yang digunakan dalam skripsi ini dirangkai dan dibangun dari teori-teori mekanika teknik dan teori-teori pengukuran teknik, hingga memberikan kerangka konsep teori Estimasi GRF dan Posisi CoP Menggunakan Twin *Force plate* dan memberikan tiga hipotesis penelitian sebagai solusi teoritis atas masalah dan tujuan penelitian. Sub-bab konstruksi teori ini juga membahas teori-teori metrologi statistik untuk

menguji hipotesis penelitian. Selanjutnya dalam sub-bab kajian pustaka, membahas lebih terperinci identifikasi celah penelitian dalam topik biomekanika dan perbedaan solusi Estimasi GRF dan Posisi CoP yang ditawarkan dari penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu, sekaligus menunjukkan posisi penelitian ini diantara penelitian-penelitian terdahulu.

Bab ketiga menjelaskan bagaimana proses menjalankan percobaan dan membuktikan hipotesis penelitian Skripsi Model Estimasi GRF dan Posisi CoP Menggunakan *Twin Force plate* Susunan *Loadcell* Majemuk (Susunan *Parametric Reconfigurable*). Dimulai dengan perancangan percobaan berdasarkan teori-teori metrologi statistik dan pengambilan sample yang diperlukan untuk uji hipotesis Estimasi GRF dan Posisi CoP. Perancangan dan perakitan sensor *loadcell* dan akuisisi data digital berdasarkan teori dan keterampilan teknik elektronika industri, instrumentasi, dan kontrol. Perancangan setup percobaan *twin force plate* berdasarkan teori dan keterampilan proses manufaktur dan perancangan alat bantu kerja. Hingga pengumpulan data percobaan Estimasi GRF dan Posisi CoP Menggunakan *Twin Force plate* Susunan *Loadcell* Majemuk (Susunan *Parametric Reconfigurable*).

Bab ke-empat menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan Skripsi Model Estimasi GRF dan posisi CoP menggunakan *Twin Force plate* (Susunan *Parametric Reconfigurable*). Pada pengumpulan dan pengolahan data menjelaskan bagaimana proses pengolahan data secara statistik dan dilakukan-nya uji hipotesis. Analisis dan pembahasan melakukan analisis sekaligus membahas hasil dari pengolahan data statistik dan hasil dari uji hipotesis yang telah dilakukan.

Bab kelima memaparkan kesimpulan sekaligus penutup dari Skripsi Model Estimasi GRF dan posisi CoP menggunakan *Twin force plate* (Susunan *Parametric Reconfigurable*). Bab kelima menjelaskan kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan. Dalam bab ini juga menjelaskan temuan dan implikasi dari hasil analisa dan pembahasan dan bab ini memaparkan rekomendasi penelitian selanjutnya.