

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu merupakan pengantar yang memberikan informasi detail mengenai situasi atau konteks latar belakang penelitian, merumuskan masalah penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, serta membatasi rentang topik yang akan dibahas.

1.1 Latar Belakang Masalah

Biomekanika merupakan ilmu yang mengaplikasikan prinsip-prinsip mekanika pada sistem biologis, khususnya berkaitan dengan analisis gerakan tubuh manusia dan makhluk hidup (Abdillah et al., 2024). Biomekanika juga digunakan pada sistem biologi sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika. Ilmu biomekanika adalah kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan, ilmu biologi, dan fisiologi (Santoso, 2018). Gerak berjalan manusia telah menjadi salah satu fokus penelitian yang sering dilakukan. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengetahui bagaimana mekanisme gerak berjalan manusia. *Ground Reaction Force* adalah gaya yang muncul disaat seseorang sedang berjalan. Ketika berjalan orang tersebut memberikan gaya pada tempatnya disaat berjalan, gaya ini disebut dengan gaya aksi. Selama ini diagnosis pada atlet atau pasien yang mengalami masalah pada alat geraknya dilakukan berdasarkan pengamatan kuantitatif, sehingga diperlukan suatu metode untuk mendapatkan diagnosis berdasarkan data pengamatan kuantitatif. Untuk melakukan validasi bahwa sistem yang dikembangkan dapat digunakan dengan ketelitian dan ketepatan yang baik, maka diperlukan alat yang dapat mengukur gaya reaksi tanah. Alat yang sering digunakan untuk mengukur gaya reaksi tanah (GRF) dalam analisis *gait* yang diperlukan di bidang rehabilitasi medik adalah *force plate* (Dirgantara et al., 2012).



Gambar 1.1 *Force plate*

Force plate merupakan alat ukur biomekanik yang berfungsi untuk mengukur *Ground Reaction Force* (GRF) dan *Center of Pressure* (CoP), bentuk *force plate* yaitu penampang

persegi empat yang di setiap sudutnya dipasang suatu sensor gaya yang disebut *load cell*. Selain mengukur GRF, *force plate* juga dapat digunakan untuk menghitung posisi titik aplikasi GRF, yaitu titik tempat gaya resultan bekerja pada *force plate*.

Dengan adanya perkembangan teknologi dirancang suatu alat yang mampu mengukur berat yang dilengkapi dengan hasil timbangan terbaca melalui LCD pada Mikrokontroler, dengan demikian terjadinya kesalahan dalam proses pembacaan data dapat di minimalisir serta mempermudah pemakaian dalam melihat pengukuran. Tahap awal dilakukan dengan mengubah sensor yang digunakan dalam mengukur benda yaitu menggunakan sensor *load cell* (Supriyanto et al., 2024). *Load cell* merupakan transduser yang dikelompokkan sebagai transduser gaya (*force transducer*). Alat ini dapat mengubah gaya atau beban atau berat menjadi sinyal listrik. Bagian utama dari *load cell* adalah *strain gage*. *Strain gage* adalah alat yang memiliki tahanan yang dapat berubah apabila alat mengalami penekanan (Samto, 2011).

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 *real-time* 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 *real-time*. Perekaman data dengan cara ini mampu menangkap variabel-variabel dinamika gerak secara *real-time* dengan tepat.

Tabel 1.1 Penelitian biomekanika secara kuantitatif di Indonesia pada portal Garuda.

No	Instrument pengukuran	Nomer artikel dan judul artikel	keterangan
1	<i>Motion Capture</i>	7) Pendekatan Biomekanika pada Analisa Pengaruh Usia terhadap Karakteristik Gerak Berjalan untuk Individu Usia Lanjut (Nur Afiah, 2017)	Perekaman data dan analisis data gerakan, posisi, kecepatan, percepatan secara <i>real-time</i>
		11) Kajian Biomekanika Untuk Jalan Cepat Terhadap Rancangan Knee Joint Sistem Energy Storing Mekanisme 2 Bar Pada Kaki Prosthetic Endoskeletal Bagi Amputee Transfemoral (Lobes <i>et al.</i> , 2012)	Perekaman data dengan cara ini mampu menangkap variable-variabel dinamika Gerak secara <i>real-time</i> .
2	Lantai timbangan dengan 4 <i>load cell</i>	29) Analisis Biomekanika Pergerakan Pinggul Penari Bapang (Dino Nofianto, Muhammad Agus Sahbana and Nurida Finahari, 2020)	Informasi data berat dari load cell dan Lokasi berat dari kamera birdview dicatat secara manual. Perhitungan data urutan waktu dilakukan secara manual
		31) Analisis Komparasi Aspek Gerak dan Biomekanika Tari Gandrung Banyuwangi dan Balet Klasik (Finahari and Rubiono, 2021)	Pendekatan perekaman data secara stopmotion menghasilkan analisis data yang mendekati <i>real-time</i>

Ditemukan juga 2 penelitian yang melakukan perekaman data kuantitatif secara stop-motion menggunakan lantai timbangan dengan 4 *load cell* yang ditulis oleh Nofianto et al (2020) dan Finari & Rubiono (2021). Informasi data berat dari load cell 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 *real-time*, meskipun dengan upaya yang besar.

(Gambar mikul beban)

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 permasalahan tersebut, tim peneliti Ergonomi-Sisman secara bertahap merancang dan mengembangkan *force plate* yang mampu mengukur besar GRF kaki kanan dan kaki kiri serta mampu menentukan posisi CoP kaki kanan dan kaki kiri menggunakan perangkat sensor *load cell* yang tersedia di pasaran dan terjangkau. Berbeda dengan desain *force plate* pada umumnya yang *single plate* menggunakan 4 *load cell*, desain *force plate* yang dikembangkan dalam penelitian ini mengakomodasi model estimasi GRF dan menentukan posisi CoP pada kaki kanan dan kaki kiri menggunakan *twin force plate* yang masing-masing *plate* dilengkapi dengan 3 *load cell* dengan menggunakan bentuk konfigurasi X.

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 *load cell* terhadap alat ukur pembanding?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan vertikal dan koordinat posisi pembebanan pada *force plate* terhadap pembacaan konfigurasi X *load cell* tumpuan *force plate*?
3. Bagaimana model untuk mengestimasi GRF dan koordinat posisi CoP berdasarkan pembacaan konfigurasi X *load cell* tumpuan *force plate* dan bagaimana kebenaran model estimasi GRF dan koordinat posisi CoP?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menguji kebenaran akurasi dan presisi pengukuran *load cell* terhadap alat ukur pembanding.
2. Membangun dan membuktikan kebenaran model *inverse dynamic force plate load cell* susunan penataan X, dengan menyertakan berat *platform*.
3. Membuktikan kebenaran model estimasi GRF dan koordinat posisi CoP berdasarkan pembacaan beban *load cell* susunan penataan X, dengan menyertakan berat *platform*.

1.4 Asumsi Dan Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan hal yang penting tugas akhir dikarenakan untuk membatasi penelitian agar tidak melebar dari topik yang dipilih oleh penyusun. Batasan masalah yang ada dari penelitian yang akan dilakukan yakni sebagai berikut:

1. Asumsi osilasi *load cell* diabaikan. Dengan demikian, 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 pengatur kedataran untuk menjamin permukaan datar, meminimalkan proyeksi gaya horizontal dan konstruksi beban pembanding diatur supaya dapat berdiri vertikal seimbang diatas satu kaki karet berdiameter 36 mm.
3. Penelitian ini dibatasi tidak membahas pengembangan rangkaian papan *circuit* elektronik dan pengembangan user *interface software* aplikasi. Dimasukkan dibawah 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 kordinat 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 model dan data pembanding untuk analisis komparasi dengan model estimasi *Ground Reaction Force* (GRF) dan posisi *Center of Pressure* (CoP) menggunakan susunan *Load Cell* jamak konfigurasi X.
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 Proposal

Skripsi Model Estimasi *Ground Reaction Force* (GRF) dan Posisi *Center of Pressure* (CoP) Menggunakan *Twin Force Plate*, disusun dalam sistematika berikut;

1. 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 cukup dalam skripsi model estimasi GRF dan posisi CoP menggunakan *Twin Force Plate*.
2. Bab kedua dasar teori dan kajian pustaka terbagi dalam dua bagian, sub-bab konstruksi teori dan sub-bab kajian pustaka. Dalam sub-bab konstruksi teori dibahas teori yang mendasari model estimasi GRF dan posisi CoP menggunakan *twin force plate*. Dibagian konstruksi teori 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. Di sub-bab konstruksi teori ini juga dibahas teori-teori metrologi statistik untuk menguji hipotesis penelitian. Selanjutnya di sub-bab kajian pustaka, dibahas lebih terperinci identifikasi celah penelitian dalam topik biomekanika dan perbedaan Solusi estimasi GRF dan posisi CoP yang ditawarkan dari penelitian ini diantara penelitian-penelitian terdahulu.
3. Bab ketiga menjelaskan bagaimana menjalankan percobaan untuk membuktikan hipotesis penelitian skripsi model estimasi GRF dan posisi CoP menggunakan *twin force plate*. Dimulai perancangan percobaan berdasarkan teori-teori metrologi statistik dan pengambilan sampel yang diperlukan untuk uji hipotesis estimasi GRF dan posisi CoP. Perancangan dan perakitan sensor *load cell* dan akuisisi data digital berdasarkan teori dan keterampilan teknik elektronika industri, instrumentasi dan control. Perancangan setup percobaan *twin force plate* menggunakan keterampilan *CAD modelling*. Fabrikasi dan perakitan 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 setup percobaan *twin force plate*.