

ABSTRAK

Keterbatasan ketersediaan instrumen pengukuran biomekanika yang akurat dan terverifikasi masih menjadi permasalahan utama dalam pengembangan penelitian biomekanika di Indonesia. Salah satu kesenjangan penelitian yang signifikan adalah belum tersedianya *force plate* yang bersifat ekonomis namun memiliki kinerja pengukuran *Ground Reaction Force* (GRF) dan *Center of Pressure* (COP) yang memenuhi prinsip kebenaran, akurasi dan presisi pengukuran. Kondisi tersebut membatasi proses validasi model biomekanika, khususnya pada pengembangan sistem analisis gerak manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi model pengukuran *Ground Reaction Force* (GRF) dan koordinat posisi *Center of Pressure* (COP) menggunakan *Twin Force Plate* dengan susunan *loadcell* jamak konfigurasi O, dengan asumsi berat platform diabaikan. Pengembangan model diarahkan pada pembentukan model fisik matematik *force plate* yang dapat divalidasi secara *teoritis* dan *kempiris*. Metode meliputi proses kalibrasi *loadcell*, pengujian kebenaran akurasi dan presisi pengukuran *loadcell* terhadap alat ukur pembanding, validasi model *inverse dynamic force plate* berdasarkan variasi pembebanan vertikal dan koordinat posisi pembebanan, serta validasi model *forward dynamic* untuk estimasi GRF dan koordinat posisi COP. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan analisis statistik deskriptif, koefisien determinasi R-kuadrat, serta pengujian hipotesis dengan uji statistik parametrik dan nonparametrik sesuai karakteristik data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh *loadcell* yang digunakan valid untuk diaplikasikan pada sistem *force plate* dalam mengestimasi GRF dan COP. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji statistik yang menyatakan tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil pengukuran *loadcell* dan alat ukur pembanding, serta nilai koefisien determinasi R-kuadrat hasil kalibrasi *loadcell* yang seluruhnya bernilai lebih besar dari 0,99998, yang menunjukkan tingkat kesesuaian model regresi kalibrasi yang sangat tinggi. Validasi model *inverse dynamic force plate* menunjukkan bahwa model *teoritis* didukung oleh hasil pengujian statistik, dengan nilai R-kuadrat seluruh estimasi *inverse dynamic loadcell* berada diatas 0,9862, selanjutnya, validasi model *forward dynamic force plate* untuk estimasi GRF dan koordinat posisi COP juga menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik, dengan seluruh nilai R-kuadrat estimasi GRF dan COP bernilai lebih besar dari 0,9996.

Kata kunci: *force plate*, *Ground Reaction Force*, *Center of Pressure*, biomekanika, *loadcell*, *inverse dynamic*, *forward dynamic*.

ABSTRACT

The limited availability of accurate and validated biomechanical measurement instruments remains a major challenge in the development of biomechanical research in Indonesia. One significant research gap is lack of economical force plate systems capable of measuring ground reaction force (GRF) center of pressure (COP) with verified accuracy and precision. This limitation hinders the validation of biomechanical models, particularly in the development of human motion analysis systems based on locally developed instrumentation. This study aims to develop and validate a model for measuring Ground Reaction Force (GRF) and Center of Pressure (CoP) coordinates using a Twin Force Plate system with a multiple load cell arrangement in an O-configuration, under the assumption that the platform weight is negligible. The proposed approach focuses on establishing a force plate physical–mathematical model that is theoretically sound and empirically validated. The research methodology includes load cell calibration, evaluation of measurement accuracy and precision against a reference weighing instrument, validation of the inverse dynamic force plate model based on variations in vertical loading and loading position coordinates, and validation of the forward dynamic model for GRF and CoP estimation. Model performance was assessed using descriptive statistical analysis, coefficient of determination (R^2), and hypothesis testing with appropriate parametric and nonparametric statistical tests based on data characteristics. The results demonstrate that all load cells used in this study are valid for application in a force plate system to estimate GRF and CoP. Statistical testing indicates no significant difference between load cell measurements and the reference instrument, while the coefficient of determination (R^2) obtained from load cell calibration exceeded 0,99998 for all sensors, indicating an excellent calibration regression fit. The inverse dynamic force plate model was statistically supported, with all inverse dynamic load cell estimations yielding R^2 values greater 0,9862 than , despite minor estimation deviations under certain loading conditions. Furthermore, the forward dynamic force plate model for GRF and CoP estimation showed very high agreement, with all GRF and CoP estimation results achieving R^2 values above 0,9996. These findings confirm that the proposed Twin Force Plate model provides highly reliable performance for GRF and CoP measurement.

Keywords: force plate, ground reaction force, center of pressure, biomechanics, load cell, inverse dynamics, forward dynamics.