

# SKRIPSI

## PENGEMBANGAN DAN VALIDASI *FORCE PLATE* SEBAGAI ALAT UKUR *GROUND REACTION FORCE* (GRF) DAN *CENTER* *OF PRESSURE* (COP)



Oleh:

Nama : Garda Dibya Widagda  
NPM : 20036010005

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR  
SURABAYA  
2024

LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI

PENGEMBANGAN DAN VALIDASI *FORCE PLATE* SEBAGAI ALAT  
UKUR *GROUND REACTION FORCE (GRF)* DAN *CENTER OF PRESSURE*  
(COP)

Skripsi Ini Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu  
Dan Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Oleh:

Nama : Garda Dibya Widagda  
NPM : 20036010005  
Kosentrasi : Biomedik

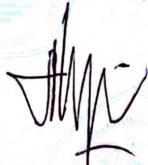
Telah Diuji Dalam Ujian Komprehensif Skripsi  
Hari/Tanggal: Senin / 02 September 2024

Telah Disahkan Oleh:

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing

1.



Ir. Sutiyono, M.T.

NIP. 19600713 198703 1 001

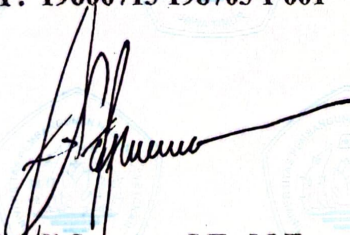


Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., MT

NPT. 20219910114203

Koordinator Program Studi Teknik Mesin

2.



Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng.

NIP. 19940726 202406 1 002



Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT

NIP. 19640611 199203 2 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik & Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa timur



Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP

NIP. 19650403 199103 2 001

## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Garda Dibya Widagda  
NPM : 20036010005  
Fakultas/Program Studi : Fakultas Teknik & Sains / Teknik Mesin  
Judul Skripsi/Tugas Akhir : Pengembangan Dan Validasi *Force Plate* Sebagai Alat Ukur *Ground Reaction Force* (GRF) Dan *Center Of Pressure* (COP)

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Mengetahui



**Rizqa Ruviana, S.T., M.T.**  
NIP. 19970125 202406 2 001

Surabaya, 13 September 2024

Yang Menyatakan,



The image shows an official stamp of the Indonesian government (KORPRI) with the text "METERAI TEMPEL" and the number "4ALX316748817". A handwritten signature is written over the stamp.

**Garda Dibya Widagda**  
NPM. 20036010005

## KATA PENGANTAR

Segala syukur dan puji hanya bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar akhirnya penulisan dapat menyelesaikan tugas akhir ini guna memenuhi salah satu persyaratan dalam mencapai Gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Adapun judul dari penulisan Skripsi ini adalah :

**“Pengembangan dan Validasi *Force Plate* Untuk Mengukur *Ground Reaction Force* (GRF) Dan *Center of Pressure* (COP)”**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Untuk itu demi sempurnanya tugas akhir ini, penulis sangat membutuhkan dukungan dan sumbangsih pikiran yang berupa kritik dan saran bersifat membangun.

Dengan tersusunnya tugas akhir ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada kedua orang tua yang telah memberikan kasih sayang, nasehat, motivasi dan dukungan lahir maupun batin serta do’a yang tidak henti kepada penulis dan Ibu Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd.,M.T. selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan dengan ketelitian dari awal hingga akhir proses penyusunan Proposal Skripsi ini, serta pihak-pihak yang memberikan dukungan kepada penulis diantaranya yang terhormat :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, MMT., IPU** selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu **Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu **Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT** selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

4. Bapak **Ir. Sutiyono, M.T.** Selaku Dosen Penguji Pertama.
5. Bapak **Williandi Saputro, S.T., M.Eng.** Selaku Dosen Penguji Kedua.
6. Seluruh Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
7. Bapak **Asep Nugroho, S.Si, M.Sc** Selaku Koordinator Magang di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Yang Telah Membantu Penulis Dalam Perancangan *Force Plate* .
8. Ayah, Ibu dan Kakak Tercinta yang telah memberikan do’a, kasih sayang, dorongan, semangat, serta motivasi kepada penulis dalam berbagai hal baik terutama dalam penyusunan tugas akhir ini.
9. *For Holy Spirit*, Sumber Segala Ilham Selama Penulisan Ini, Sumber Pengetahuan Utama, Sumber Inspirasi, Sumber Kekuatan, Sumber Sukacita, Kepada Dia, Yesus, Dan Allah Bapa Di Surga, *The Only Wise God*, Kemuliaan Selama-Lamanya.
10. Kepada PT. FEGAS terimakasih sudah memberikan pelajaran hidup yang begitu banyak selama penulis menjalani masa perkuliahan ini.
11. **Linda, Rizky, Fawwaz, Bagas, dan Ikhsan** yang selalu menjadi teman seperjuangan dalam perkuliahan di Teknik Mesin UPNVJT.
12. **Fadya Haya Bryliani S.Tr.T** Yang Telah Membantu Banyak Pada Penulis .
13. Rekan-rekan Teknik Mesin Yang Telah Memberikan Segala Dukungan.
14. *Last but not least, I wanna thank me I wanna thank me for believing in me I wanna thank me for doing all this hard work I wanna thank me for having no days off I wanna thank me for. for never quitting I wanna thank me for always being a giver And tryna give more than I receive I wanna thank me for tryna do more right than wrong I wanna thank me for just being me at all times.*

Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat, baik bagi penulis pada khususnya maupun bagi yang memerlukan bagi umumnya.

Surabaya, Juli 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Tujuan .....	3
I.4 Batasan Masalah.....	4
I.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>II.1. Teori Umum</b> .....	<b>6</b>
II.1.1. Force Plate Sebagai Alat Pengukur.....	6
II.1.2. Pengembangan Force Plate .....	7
II.1.3. Validasi Force Plate.....	7
II.1.4. Skema Sistem Pengukuran Force Plate.....	8
II.1.5. Ground Reaction Force (GRF) .....	9
II.1.6. COP dan Perhitungan .....	11
<b>II.2. Landasan Teori</b> .....	<b>12</b>
II.3.1. Gait Analysis .....	12
II.3.2. Dua Fase <i>Gait Cycle</i> .....	14
II.3.3. Loadcell.....	15
II.3.4. Microcontroller ESP .....	16
II.3.5. Modul Amplifier HX711 .....	18
II.3.6. Metode Elemen Hingga .....	20
II.3.7. Hipotesa.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
III.1. Alat dan Bahan .....	23

III.2.	Variabel Penelitian .....	23
III.2.1.	Variabel Bebas .....	23
III.2.2.	Variable Terikat.....	24
III.2.3.	Variabel Kontrol.....	24
III.3.	Alur Penelitian.....	24
III.4.	Desain.....	25
III.5.	Simulasi dengan Metode Elemen Hingga.....	26
III.6.	Manufaktur Force Plate .....	29
III.7.	Pengujian <i>Force Plate</i> (Pengambilan Data).....	30
III.8.	Perhitungan CoP ( <i>Center of Pressure</i> ) .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>33</b>
IV.1.	Hasil Simulasi Metode Elemen Hingga.....	33
IV.1.1.	Perhitungan <i>Center of Pressure</i> (CoP) dari Hasil Simulasi Metode Elemen Hingga.....	45
IV.2.	Proses Manufaktur.....	46
IV.3.	Validasi Force Plate.....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>68</b>
V.1.	Kesimpulan .....	68
V.2.	Saran.....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Skema Sistem Pengukuran Penelitian Force Plate .....	9
Gambar II. 2 Posisi GRF Terhadap Pusat Masa Manusia .....	10
Gambar II. 3 Force Plate Dengan loadcell di setiap Sudutnya .....	11
Gambar II. 4 Fase gait-analysis (HKI EC00202253707) .....	14
Gambar II. 5 Loadcell Single Point .....	15
Gambar II. 6 Contoh ESP (a) ESP8266. (b) ESP32 Devkit V1.....	16
Gambar II. 7 Pinout ESP32.....	17
Gambar II. 8 Tampilan Arduino IDE.....	18
Gambar II. 9 Modul Amplifier HX 711.....	20
Gambar II. 10 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Simulasi.....	21
Gambar III. 1 Flowchart Perancangan.....	25
Gambar III. 2 Desain Force Plate .....	26
Gambar III. 3 Proses Meshing .....	27
Gambar III. 4 Pengaturan Kondisi Batas .....	27
Gambar III. 5 Langkah Langkah Analisis MEH.....	28
Gambar III. 6 Titik Pada Pembebanan.....	29
Gambar III. 7 Langkah - Langkah Manufaktur Force Plate .....	30
Gambar III. 8 Langkah Langkah Pengujian Force Plate .....	31
Gambar III. 9 Rumus untuk perhitungan CoP .....	32
Gambar IV. 1 Hasil Pengujian Pada Sembilan Titik Beban 600 gram.....	38
Gambar IV. 2 Hasil Pengujian Pada Kesembilan Titik Beban 1500 gram.....	43
Gambar IV. 3 Grafik Hasil Perhitungan CoPx dari Titik Beban 1 hingga 9 ..	45
Gambar IV. 4 Grafik Hasil Perhitungan CoPy dari Titik Beban 1 hingga 9 ..	45
Gambar IV. 5 Desain Force Plate .....	47
Gambar IV. 6 Pemilihan Bahan .....	47
Gambar IV. 7 Integrasi Sistem Elektronik.....	48
Gambar IV. 8 Hasil Kalibrasi pada Beban 600 gram .....	49
Gambar IV. 9 Hasil Kalibrasi pada Beban 600 gram .....	49



Gambar IV. 10	Pengambilan Data Titik Beban 1 pada Beban 600 gram	50
Gambar IV. 11	Pengambilan Data Titik Beban 2 pada Beban 600 gram	51
Gambar IV. 12	Pengambilan Data Titik Beban 3 pada Beban 600 gram	52
Gambar IV. 13	Pengambilan Data Titik Beban 4 pada Beban 600 gram	53
Gambar IV. 14	Pengambilan Data Titik Beban 5 pada Beban 600 gram	54
Gambar IV. 15	Pengambilan Data Titik Beban 6 pada Beban 600 gram	55
Gambar IV. 16	Pengambilan Data Titik Beban 7 pada Beban 600 gram	56
Gambar IV. 17	Pengambilan Data Titik Beban 8 pada Beban 600 gram	57
Gambar IV. 18	Pengambilan Data Titik Beban 9 pada Beban 600 gram	58
Gambar IV. 19	Pengambilan Data Titik Beban 1 pada Beban 1500 gram	59
Gambar IV. 20	Pengambilan Data Titik Beban 2 pada Beban 1500 gram	60
Gambar IV. 21	Pengambilan Data Titik Beban 3 pada Beban 1500 gram	61
Gambar IV. 22	Pengambilan Data Titik Beban 4 pada Beban 1500 gram	62
Gambar IV. 23	Pengambilan Data Titik Beban 5 pada Beban 1500 gram	63
Gambar IV. 24	Pengambilan Data Titik Beban 6 pada Beban 1500 gram	64
Gambar IV. 25	Pengambilan Data Titik Beban 7 pada Beban 1500 gram	65
Gambar IV. 26	Pengambilan Data Titik Beban 8 pada Beban 1500 gram	66
Gambar IV. 27	Pengambilan Data Titik Beban 9 pada Beban 1500 gram	67

## DAFTAR TABEL

Tabel III. 2 Material Properties.....	26
Tabel IV. 1 Total Dari Titik Beban 1 Hingga 9 pada loadcell.....	33
Tabel IV. 2 Total Dari Titik Beban 1 Hingga 9 pada Loadcell Dengan Beban 1500 gram .....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Curriculum Vitae.....	79
Lampiran 1. 2 Toolbox Analysis System.....	79
Lampiran 1. 3 Engineering Data.....	79
Lampiran 1. 4 Referensi Tab Model.....	80
Lampiran 1. 5 Geometry.....	80
Lampiran 1. 6 Materials.....	80
Lampiran 1. 7 Coordinate System.....	81
Lampiran 1. 8 Connections / Contact Region.....	81
Lampiran 1. 9 Mesh.....	81
Lampiran 1. 10 Fixed Support.....	82
Lampiran 1. 11 Force.....	82
Lampiran 1. 12 Displacement.....	82
Lampiran 1. 13 Total Deformation.....	83
Lampiran 1. 14 Force Reaction.....	83

## INTISARI

Pengembangan alat ukur biomekanika seperti *Force Plate* sangat penting untuk analisis gerakan manusia, khususnya dalam mengukur *Ground Reaction Force* (GRF) dan *Center of Pressure* (COP). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi *Force Plate* yang lebih terjangkau, tetapi tetap akurat dalam mengukur GRF dan COP, dibandingkan dengan *Force Plate* komersial yang ada. *Force Plate* yang dirancang menggunakan material *aluminium alloy* dan dilengkapi dengan sensor *loadcell* pada empat titik, serta modul mikrokontroler ESP32 untuk membaca dan memproses data yang dihasilkan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi simulasi metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk menguji kekuatan dan distribusi gaya pada *Force Plate*, serta pengujian eksperimental dengan beban sebesar 600gram dan 1500 gram pada sembilan titik pengukuran. Data yang diperoleh dari *Force Plate* kemudian divalidasi dengan *Force Plate* komersial untuk mengevaluasi tingkat keakuratannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Force Plate* yang dikembangkan mampu mengukur GRF dan COP dengan akurat dan konsisten. Perbandingan hasil pengukuran dengan *Force Plate* komersial menunjukkan tingkat kesalahan yang rendah, sehingga alat ini dapat diandalkan untuk digunakan dalam analisis biomekanika dan rehabilitasi fisik. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi *Force Plate* yang lebih ekonomis dan mudah diakses, tanpa mengorbankan kualitas pengukuran. Dengan demikian, *Force Plate* ini dapat digunakan secara luas dalam penelitian biomekanika, evaluasi kinerja atlet, serta pengembangan program rehabilitasi fisik.

**Kata Kunci:** *Force Plate*, *Ground Reaction Force* (GRF), *Center of Pressure* (COP), Metode Elemen Hingga, Biomekanika.