

Perancangan *Force Platform* untuk Analisis Gaya Berjalan

(Force Platform Design for Gait Analysis)

1st Hanif Rizky N
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
hanifrizkyn@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Wahmisari Priharti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
wpriharti@telkomuniversity.ac.id

3rd Dien Rahmawati
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dienrahmawati@telkomuniversity.ac.
id

Abstrak

Manusia melakukan aktivitas motorik yang dinamakan berjalan. Gerakan maju tubuh yang tegak, dengan menggunakan bagian bawah tubuh sebagai tenaga gerak disebut gait. Dalam bidang teknik biomedis analisis gaya berjalan manusia sudah menjadi analisis fundamental dan alat bantu untuk mengetahui kualitas hidup manusia [1]. Salah satu alat yang sering digunakan untuk menganalisa gaya berjalan manusia adalah force platform. Pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian dengan menggunakan sensor piezoelektrik dimana sensor diletakkan pada bagian sepatu kemudian dihasilkan tekan dari gaya reaksi tanah [1]. Pada penelitian kali ini dilakukan pengembangan dimana sensor yang digunakan adalah Force sensing resistor (FSR) yang akan menghasilkan nilai tekanan yang ada pada telapak kaki. Hasil pengukuran tekanan kaki manusia dengan menggunakan sensor FSR dilakukan pada saat berdiri dan saat berjalan pada fase stance dimana kaki akan melakukan kontak dengan sensor FSR, kemudian sensor menampilkan nilai sesuai bentuk kaki yang menekan sensor. Hasil nilai keluaran sensor untuk setiap subjek berbeda tergantung pada berat badan subjek. Nilai tekanan maksimum yang dihasilkan saat berjalan pada fase stance adalah 309920 kN/m² pada periode initial contact, 919410 kN/m² pada periode mid stance dan 475280 kN/m² pada periode terminal stance. pengukuran tekanan telah dapat dilakukan dengan menggunakan Force platform dengan Force sensing resistor sebagai sensor.

Kata Kunci: *Force platform, Gait Analysis, Force Sensing Resistor*

Abstract

Humans do a motoric activity called walking. The forward movement of an upright body, using the lower part of the body, is called gait. In the biomedical engineering, human gait analysis has become a fundamental analysis and a tool to determine the quality of human life. One tool that is

often used to analyze human gait is the force platform. This study describes the design of a force platform for gait analysis. The Force platform is designed using a Force sensing resistor (FSR) as a sensor and then using a microcontroller. The purpose of this study is to design a Force platform that can detect the pressure of the human foot and then to get the value of the human foot pressure according to the array on the FSR sensor. The results of measuring human foot pressure using the FSR sensor are carried out when standing and when walking in the stance phase where the foot will make contact with the FSR sensor, then the sensor displays the value according to the shape of the foot pressing the sensor. The sensor output value for each subject is different depending on the subject's weight. The maximum pressure values produced when walking in the stance phase are 309920 kN/m² in the initial contact period, 919410 kN/m² in the mid stance period and 475280 kN/m² in the terminal stance period. pressure measurement can be done using a Force platform with a Force sensing resistor as a sensor.

Keywords: Force platform, Gait Analysis, Force Sensing Resistor

I. PENDAHULUAN

Manusia melakukan aktivitas motorik yang dinamakan berjalan. Gerakan maju tubuh yang tegak, dengan menggunakan bagian bawah tubuh sebagai tenaga gerak disebut gait. Siklus gaya berjalan manusia adalah aktivitas yang terjadi antara satu kaki menyentuh tanah dan kaki pada sisi yang sama kembali menyentuh tanah. Satu siklus gait terdiri dari dua buah fase yaitu, fase stance (pada saat salah satu kaki menyentuh tanah) dan fase swing (pada saat salah satu kaki mengayun atau tidak mengalami kontak dengan tanah). Umumnya bagian kaki yang menyentuh tanah terlebih dulu adalah tumit[1].

Analisis terhadap gaya berjalan manusia digunakan untuk menilai, merencanakan dan memberikan perlakuan terhadap individu atas kondisi yang mempengaruhi kemampuan mereka untuk bergerak[2]. Salah satu alat yang sering digunakan untuk menganalisa gaya berjalan manusia adalah force platform. force platform menggunakan untuk menghasilkan keluaran tegangan.

Menurut Akhtaruzzaman[3], dikatakan bahwa studi terkait dengan analisa gait manusia sudah ada sejak pertengahan abad ke-17. Tahun 1999, Cross, R. Melakukan penelitian serupa menggunakan force platform untuk mengukur gaya reaksi tanah saat manusia melakukan pergerakan tubuh. Pengukuran tersebut dilakukan dengan 3 jenis yaitu berdiri, berjalan, dan lompat[4]. Dewasa ini, analisa gait menjadi fokus utama dalam bidang penelitian bidang ilmu robotik, therapeutic, medis, pemantauan keamanan, dan olahraga[3].

Pada penelitian kali ini penulis akan merancang sistem analisis gait dengan metode dinamis karakteristik gaya berjalan menggunakan force platform. Force platform ini dirancang dengan Force Sensing Resistor (FSR), Mikrokontroler, Multiplexer, dan Shift Register.

II. KAJIAN TEORI

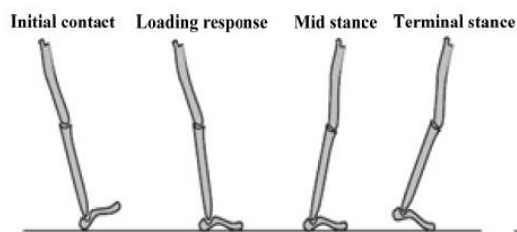
a. Gaya Berjalan Manusia

Analisis gaya berjalan manusia adalah studi sistematis tentang penggerak manusia. Jenis analisis ini melibatkan pengukuran, dan penilaian kuantitas yang menjadi ciri penggerak manusia [2]. Dalam dunia medis, gaya berjalan manusia merupakan salah satu cara menentukan kualitas hidup manusia. Dalam bidang teknik biomedis analisis gaya berjalan manusia sudah menjadi analisis fundamental dan alat bantu untuk mengetahui kualitas hidup manusia[2,5]. Kualitas gaya berjalan manusia dapat menganalisa penyakit salah satunya seperti cerebral palsy. Menurut Geraldo dkk.[6] Clinical gait analysis (CGA) dibutuhkan untuk mengidentifikasi, memahami dan mendukung pengelolaan penyimpangan gaya berjalan pada

penderita cerebral palsy. CGA menilai sejumlah besar data kuantitatif mengenai karakteristik gaya berjalan pasien, seperti video, kinematika, kinetika, elektromiografi dan data *force platform*.

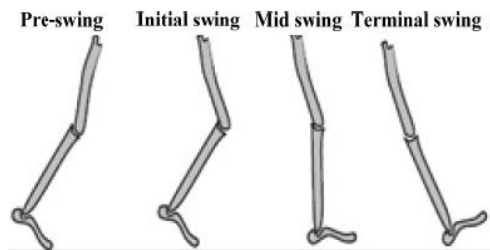
b. Fase *Gait* Manusia

Pada dasarnya gait manusia merupakan gerakan segmen tubuh secara periodik dan gerakan berulang. Fase gaya berjalan manusia dibutuhkan untuk mengetahui gerakan periodik ini secara lebih mudah. Pada analisa yang dilakukan Wijun dkk.[2], fase gait manusia dibagi menjadi 8 fase berbeda, yaitu : initial contact, loading response, midstance, terminal stance, pre-swing, initial swing, mid-swing, and terminal swing.



Gambar 1 Periode Stance

- 1) Initial contact : Fase ini terdiri dari momen ketika kaki menyentuh lantai. Postur yang ditampilkan menentukan respon pembebeanan anggota tubuh
- 2) Loading reponse : Fase dimulai saat kontak awal kaki pada lantai kemudian dilanjutkan dengan bagian kaki lainnya terangkat untuk mengayun. Tumit digunakan sebagai ayunan dan lutut tertekuk.
- 3) Mid stance : Fase ini merupakan bagian pertama dari kaki tunggal. Pada fase ini tungkai bergerak melewati ankle dorsiflexion, sementara lutut dan pinggul memanjang.
- 4) Terminal stance : Fase ini penyangga kaki tunggal. Fase ini dimulai dengan tumit naik dan berlanjut hingga kaki lainnya menyentuh tanah, di mana tumit naik dan anggota tubuh maju di atas kaki depan penggerak.



Gambar 2 Periode Swing

- 1) Pre-swing : Fase ini dimulai dengan dimulai dengan kontak awal dari ekstremitas yang berlawanan dan diakhiri dengan ujung kaki ipsilateral. Tujuan dari fase ini adalah untuk memposisikan tubuh untuk diayun.
- 2)Initial swing : Fase ini dimulai dengan mengangkat kaki dari lantai kemudian berakhir dengan kaki

mengayun. Pada fase ini kaki diangkat dan tungkai di majukan dengan fleksi pinggul dan peningkatan fleksi lutut.

3) Mid swing : Fase ini dimulai saat anggota gerak yang berayun berlawanan dengan tungkai dan berakhir ketika tungkai yang berayun ke depan dan tibia dalam posisi vertikal (yaitu, postur pinggul dan fleksi yang tajam sama). Lutut dibiarkan mengembang sebagai respons terhadap gravitasi, sedangkan pergelangan kaki terus dorsofleksi ke saraf.

4) Terminal swing : Fase terakhir ayunan ini dimulai dengan tibia vertikal dan berakhir saat kaki menyentuh lantai. Kemajuan tungkai selesai saat kaki (betis) bergerak di depan paha. Pada fase ini, kemajuan ekstremitas diselesaikan melalui ekstensi lutut. Pinggul mempertahankan fleksi sebelumnya dan pergelangan kaki tetap dorsiflexing ke saraf.

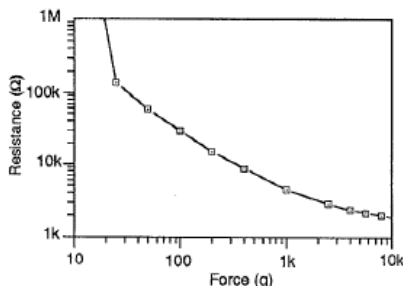
c. Force Sensing Resistor

Force Sensing Resistor (FSR) adalah perangkat yang menunjukkan penurunan resistansi sebanding dengan meningkatnya tekanan yang terjadi. Menurut Yaniger[9], FSR adalah perangkat yang fleksibel dan datar yang menunjukkan penurunan resistansi sebanding dengan meningkatnya tekanan yang diterapkan pada permukaannya.

Sebuah sensor tekanan akan membaca tekanan secara konstan pada tekanan yang konstan dimana pada tekanan yang ada atau didistribusikan, sehingga sensor FSR bukalan merupakan sensor tekanan sejati karena sensor FSR memiliki sensitifitas yang tinggi [9].

FSR dapat dibentuk dengan beragam ukuran dari 0,5 cm2 sampai 4800 cm2, sebagai sebuah sensor atau sebagai array. Resistansi sensor juga dapat disesuaikan secara spesifik. Ketebalan FSR tergantung pada beberapa variabel desain. Ini juga termasuk sensitivitas yang diinginkan, overlay, spesifik fleksibilitas. FSR biasanya didesain dengan ketebalan antara 0.1-1 mm.

FSR bukanlah sebuah sensor tekanan asli, karena keluaran sesuai dengan seberapa banyak tekanan yang diberikan pada permukaan sensor, FSR dikatakan sebagai sensor tekanan ketika luas dari FSR sebanding atau lebih besar daripada tekanan yang akan diukur.



Gambar 4 Hubungan Resistansi dengan gaya

tekanan yang diberikan maka semakin kecil resistansi dan semakin besar tegangan keluaran begitupun sebaliknya, semakin kecil tekanan yang diberikan kepada sensor FSR semakin besar resistansi dan semakin kecil tegangan keluaran sensor FSR. Prinsip kerja dari force sensing resistor (FSR) adalah ketika sensor FSR diberikan tekanan maka akan menunjukkan penurunan resistansi sebanding dengan tekanan yang diberikan. FSR memiliki persamaan sebagai berikut :

$$V_{Out} = \frac{R_m V_{in}}{(R_m + R_{FSR})} \tag{1}$$

dimana :

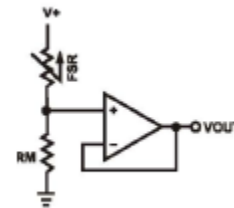
V_{out} = Tegangan Keluaran FSR (V)

R_m = Tahanan yang digunakan dalam rangkaian (Ω)

V_{in} = Tegangan masukan (V)

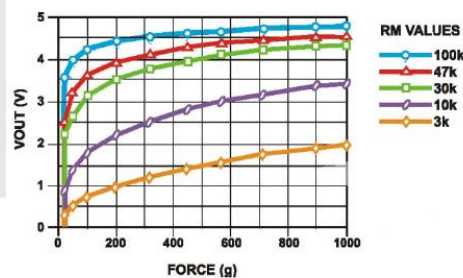
R_{FSR} = Tahanan yang dihasilkan FSR (Ω)

persamaan (3) didasarkan pada rangkaian FSR pada gambar 2.7 berikut :



Gambar 3 Rangkaian sensor FSR

gambar 4 menunjukkan rangkaian sederhana dari FSR. Hubungan antara tegangan keluaran sensor FSR dengan tekanan yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hubungan Tegangan Keluaran dengan Gaya

d. Tekanan

Tekanan merupakan salah satu istilah fisika yang menyatakan gaya per satuan luas. Dapat dijelaskan bahwa semakin banyak gaya yang diberikan maka semakin banyak tekanan yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya. Kemudian dari pernyataan yang dijelaskan dapat dikatakan pula bahwa semakin besar luas permukaan yang ada maka semakin kecil pula tekanan yang dihasilkan. Persamaan nilai tekanan dapat dijelaskan sebagai berikut

Gambar 3 menjelaskan bahwa semakin besar

$$P = \frac{F}{A} \tag{2}$$

dimana :

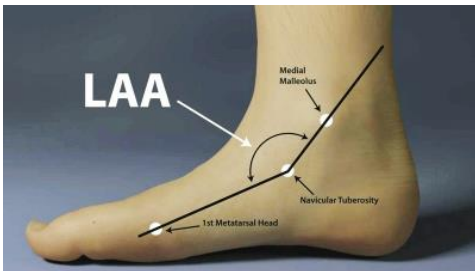
P = Tekanan (N/m²)

F = gaya (N)

A = Luas permukaan (m²)

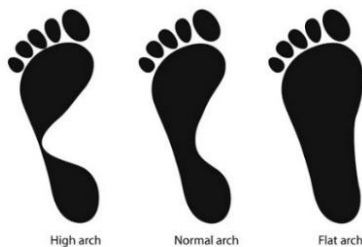
e. Telapak Kaki Manusia

Pada dasarnya manusia memiliki bentuk telapak kaki yang berbeda-beda, menurut Razegh [10], dikatakan bahwa telapak kaki dikategorikan sesuai dengan kontur berdasarkan *Medial longitudinal arch (MLA)* dan dibedakan menjadi normal (*rectus*), *low-arched (planus)*, *high-arched (cavus)*.



Gambar 6 Medial Longitudinal Arch Angle

Gambar 6 menunjukkan salah satu Metode yang dapat digunakan untuk membedakan bentuk telapak kaki yaitu Medial longitudinal arch angle (MLAA), dengan menggunakan tulang Navicula Tubersity sebagai titik tengah kemudian ditarik garis menuju Medial Malleolus dan garis lainnya menuju tulang ujung Metatarsa. Dari kedua garis tersebut akan menghasilkan sudut yang disebut Longitudinal arch angle (LAA). Sudut untuk telapak kaki normal berkisar antara 131° sampai 152°, untuk sudut dibawah 131° disebut low-arched dan diatas 152° disebut high-arched.



Gambar 7 Bentuk Telapak Kaki Manusia

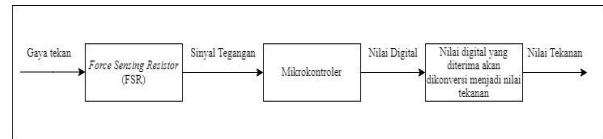
Gambar 7 menunjukkan perbedaan telapak kaki manusia dimana apabila lengkungan kaki normal maka ketika diberikan beban, bagian longitudinal lateralis akan menyentuh tanah, ketika lengkungan pada kaki berlebihan (high-arch) bagian longitudinal lateralis tidak menyentuh tanah, dan ketika lengkungan pada kaki tidak ada/kurang yang terjadi adalah longitudinal lateralis akan menyentuh tanah meski tidak diberikan beban sehingga kaki akan

terlihat datar (flat foot).

III. METODE

a. Diagram Blok Sistem

Gambar berikut adalah diagram blok sistem pada alat ini.

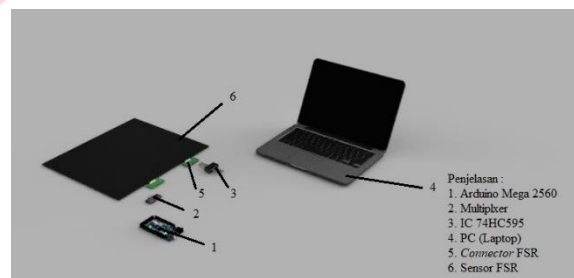


Gambar 8 Diagram Blok

Pada Gambar diatas dapat dijelaskan bahwa perancangan force platform untuk gaya berjalan manusia. Pada perancangan tugas akhir kali ini input sistem adalah tekanan kemudian dengan menggunakan FSR menghasilkan tegangan listrik, kemudian tegangan yang dihasilkan oleh FSR diolah dengan mikrokontroler arduino mega 2560 sehingga menghasilkan sinyal gaya tekanan.

b. Desain Perangkat Keras

Pada penelitian ini menggunakan komponen FSR, printed circuit board (PCB), arduino mega 2560, connector untuk FSR, multiplexer, 74HC595, jumper, IC74HC595 sebagai shift register. Komponen tersebut akan menjadi force platform yang akan menganalisa gaya berjalan manusia.



Gambar 9 Desain 3D

Dapat dilihat pada Gambar 9 bahwa force platform yang dirancang akan membutuhkan spesifikasi sebagai berikut :

- Arduino mega 2560.
- Force sensing sensor (FSR).
- Multiplexer dengan 16 pin.
- IC 74HC595.

Dengan spesifikasi diatas force platform dirancang dengan FSR sebagai sensor tekanan, kemudian arduino mega sebagai mikrokontroler yang akan memproses input analog yang diterima dari sensor piezoelektrik, dan 74HC595 sebagai shift register.

c. Flowchart

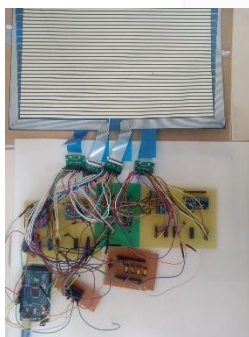


Pada diatas dapat dijelaskan bahwa perancangan force platform untuk gaya berjalan manusia, dimana ketika tekanan diberikan kepada sensor maka pixel pada sensor akan aktif menghasilkan tegangan listrik. Kemudian tegangan listrik yang dihasilkan dikirim menuju mikrokontroler dan diolah menjadi nilai data digital. Nilai data digital yang diterima akan diubah menjadi array yang mana sesuai dengan tekanan diberikan kepada sensor. Nilai digital yang dihasilkan akan dikonversi menjadi nilai tegangan sebagai validasi sensor FSR. Kemudian nilai tegangan akan dikonversi menjadi nilai tekanan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Perancangan

Hasil perancangan alat tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 9. Gambar 9 menunjukkan bahwa bagian atas merupakan force sensing resistor (FSR) sebagai sensor yang akan mengukur tegangan dari hasil teknanan kaki, FSR ini terhubung dengan multiplexer dan IC 74HC595 sebagai shift register dimana FSR perlu menggunakan connector FPC (flexible printed circuit) array.



Gambar 10 Force Platform

Perancangan force platform ini menggunakan arduino mega 2560 sebagai mikrokontroler karna memiliki 16 pin digital yang mana force platform menggunakan 8 pin digital untuk dihubungkan menuju multiplexer dan IC 74HC595.

b. Hasil Pengujian Alat

c. Hasil Pengujian Sensor FSR

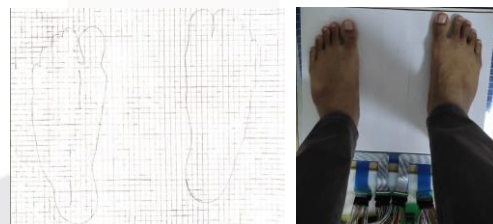
Pengujian dengan Force Platform dilakukan dengan berdiri pada Force platform untuk menghasilkan tekanan yang sesuai pada array yang terdapat pada sensor FSR. Pada pengujian kali ini menggunakan subjek sebanyak 5 orang sukarelawan dengan rentang berat badan 50 kg sampai 80 kg.

Table 1 Subjek

Subjek ke -	Berat badan (kg)	Jenis Telapak Kaki
1	56,9	Normal (rectus)
2	62,5	Normal (rectus)
3	63	Cavus
4	73	Normal (rectus)
5	74,25	Normal (rectus)

Perancangan pengujian Force platform dengan menggunakan sensor FSR dapat menentukan nilai tekanan kaki dan menentukan bentuk tekanan kaki sesuai array yang terdapat pada sensor. Array pada sensor FSR yaitu 2 dimensi dimana terdapat pixel sebanyak 44 x 52 pixel

d. Pengujian Force platform saat keadaan berdiri



Pada pengambilan data tekanan pada Force platform, subjek akan berdiri sesuai dengan gambar diatas agar pengambilan data yang dilakukan dapat disesuaikan dengan nilai tekanan yang dihasilkan oleh sensor FSR. Pengujian Force platform dilakukan dengan cara subjek akan berdiri diatas Force platform, kemudian sensor akan mendeteksi adanya tekanan. Pengujian kan dilakukan pada bidang datar dan subjek akan berdiri diatas Force platform selama 5 menit, dihitung dari menit pertama. Pengujian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Force platform untuk mengetahui tekanan yang

dihasilkan oleh kaki manusia.

Table 2 Pengambilan Data Tekanan Kaki Manusia

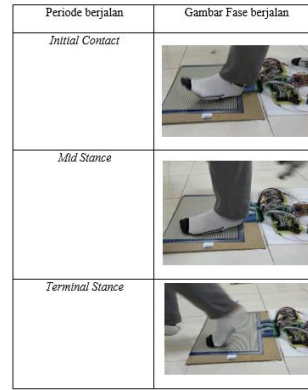
Subjek ke-	Menit ke -	Nilai Tekanan (kN/m ²)
1	1	371000
	2	413000
	3	413000
	4	338000
	5	385000
2	1	513000
	2	531000
	3	531000
	4	513000
	5	541000
3	1	560000
	2	522000
	3	570000
	4	498000
	5	561000
4	1	555000
	2	569000
	3	683000
	4	583000
	5	579000
5	1	635000
	2	612000
	3	654000
	4	678000
	5	687000

Data tekanan yang pada tiap menit dapat dilihat pada tabel 4.5. Tabel 4.5 juga menjelaskan bahwa tekanan yang dihasilkan berbanding lurus dengan massa yang diberikan, sesuai dengan persamaan "P=" "F" /"A" , kemudian $F = m \times g$, yang artinya bahwa tekanan yang dihasilkan akan semakin besar dengan massa yang diberikan. Kemudian dari data yang ada pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai tekanan yang dihasilkan setiap menitnya tidak terlalu berbeda pada subjek yang sama, perbedaan yang terlihat adalah perbedaan berat badan subjek yang menghasilkan tekanan yang berbeda.

e. Pengujian *Force Platform* pada Keadaan Berjalan

Pengujian *Force platform* pada saat berjalan dilakukan dengan subjek berjalan diatas *force platform*. Pada pengujian *force platform* pada keadaan berjalan, subjek akan melakukan kontak dengan sensor dimana kontak kaki dengan sensor *FSR* akan terjadi pada fase stance.

Gambar 11 menunjukkan gambar pengujian dimana



Gambar 11 Pengambilan Data Kaki Saat Berjalan

pengambilan tekanan kaki dilakukan pada 3 fase yaitu Initial contact, Mid stance, dan Terminal stance. Pada fase Initial contact kaki melakukan kontak awal kepada sensor pada bagian tumit, pada fase Mid stance seluruh telapak kaki melakukan kontak kepada sensor dan pada saat mid stance kaki menjadi tumpuan seluruh tubuh, pada fase Terminal stance kontak akhir sebelum kaki melakukan fase swing, kaki bagian tumit akan naik dan kaki akan siap melakukan swing.

Table 3 Data Tekanan Kaki saat Berjalan

Subjek ke -	Fase Berjalan	Nilai tekanan (kN/m ²)
1	Initial Stance	546160
	Mid Stance	848540
	Terminal Stance	83127
4	Initial Stance	309920
	Mid Stance	919410
	Terminal Stance	475280

Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil tekanan kaki maksimum yang dilakukan pada saat berjalan. Pada 3 kondisi diatas, tekanan paling tinggi dihasilkan dari ketiga kondisi ada pada periode Mid stance. Pada periode mid stance, tekanan yang lakukan oleh subjek hanya bertumpu pada 1 kaki, berbeda pada periode initial contact dan terminal stance, dimana pada saat periode mid stance kaki yang lainnya sedang pada fase swing. Pada saat kaki melakukan fase swing kaki tidak melakukan gaya tekan karena fase swing adalah fase dimana kaki terangkat (dimulai dari pra-swing hingga terminal swing) sehingga tekanan akan bertumpu pada fase stance, lebih tepatnya pada periode loading stance dan mid stance.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian Perancangan *Force platform* untuk gaya berjalan dapat disimpul kan bahwa dapat merancang *Force platform* menggunakan *Force sensing sensor* resistor sebagai sensor. *Force platform* dapat mengukur nilai tekanan dari kaki manusia dengan mengukur tekanan kaki manusia menggunakan sensor *FSR* kemudian mengkonversi tegangan keluaran yang

dihasilkan sensor FSR menjadi nilai tekanan. Nilai tekanan yang dihasilkan akan semakin besar sesuai dengan persamaan (4,8) dimana tekanan yang dihasilkan akan lebih besar ketika gaya/massa yang diberikan lebih besar.

REFERENSI

- [1] Catherine, F., & Suryantari, R. (2017). Gait Analysis Study of Runner Using Force Plate. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(02), 125.
- [2] Tao, W., Liu, T., Zheng, R., & Feng, H. (2012). Gait analysis using wearable sensors. *Sensors*, 12(2), 2255–2283.
- [3] Akhtaruzzaman, M., Shafie, A. A., & Khan, M. R. (2016). GAIT ANALYSIS: SYSTEMS, TECHNOLOGIES, and IMPORTANCE. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 16(7), 1–45.
- [4] Perry, J. (1989). *Observational gait analysis handbook*. The Pathokinesiology Service and The Physical
- [5] Muro-de-la-Herran, A., García-Zapirain, B., & Méndez-Zorrilla, A. (2014). Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors (Switzerland)*, 14(2), 3362–3394.
- [6] Armand, S., & Decoulon, G. (2016). Gait analysis in children with cerebral palsy. 1(December).
- [7] Moustakidis, S. P., Theocharis, J. B., & Giakas, G. (2008). Subject recognition based on ground reaction force measurements of gait signals. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 38(6), 1476–1485.
- [8] Castro, M. P. de, Soares, D., Mendes, E., & Machado, L. (2014). Plantar pressures and ground reaction forces during walking of individuals with unilateral transfemoral amputation. *PM and R*, 6(8), 698-707.e1.
- [9] Yaniger, S. I. (1991). Force Sensing resistors™ a review of the technology. In *Electro International, ELECTR 1991 - Conference Record* (pp. 666–668).
- [10] Razeghi, M., & Batt, M. E. (2002). Foot type classification: a critical review of current methods. 15, 282–291.