

## RANCANG BANGUN SEPATU ORTOTIK UNTUK PENDERITA *FLAT FOOT*

\*Ilham Fakhri Farhani<sup>1</sup>, Dwi Basuki Wibowo<sup>2</sup>, Gunawan Dwi Haryadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [ilhamfakhri36@gmail.com](mailto:ilhamfakhri36@gmail.com)

### Abstrak

*Flat foot* atau lengkung kaki datar merupakan kondisi medis kelengkungan *medial longitudinal arch* (MLA) lebih rata dari biasanya dan seluruh telapak kaki memiliki kontak dekat atau langsung ke permukaan tanah. Studi menunjukkan kelompok dewasa prevalensi *flat foot* sebesar 13,6% hingga 26,62%. Dampaknya yaitu nyeri kaki dan kualitas hidup yang menurun. Salah satu penanganan *flat foot* dengan penggunaan sepatu ortotik. Tujuan penelitian ini menganalisis hubungan *arch index* dan sudut belakang kaki dengan *flat foot* serta perancangan sepatu dan *insole* ortotik. Metodologi yang digunakan subjek sebanyak 5 mahasiswi yang memiliki *arch index* > 0,26 yang diukur dengan *digital footprint* dan sudut belakang kaki menggunakan goniometer. Perancangan moulding *insole* menggunakan *software* Rhinoceros dan dicetak dengan metode *3D Printing*. Pembuatan *insole* menggunakan bahan-bahan yang terdiri dari *silicone rubber* dengan konsentrasi 90%, *talc* 10%, dan *hardener* 4% dari total keseluruhan. Hasil menunjukkan bahwa seluruh subjek termasuk *flat foot* yang ditunjukkan dari hasil penurunan *everision angle* pada sudut belakang kaki yang tidak signifikan. Kesimpulannya terdapat korelasi antara *arch index* dan *everision angle* dengan pengukuran *flat foot*. Selain itu, sepatu dan *insole* ortotik dapat di desain sesuai kontur kaki mengikuti hasil pemindaian 3D dan dapat dijadikan sebagai penanganan *flat foot* sehingga dapat memberikan kenyamanan bagi penderita.

**Kata kunci:** *arch index*; *everision angle*; *flat foot*; *insole* ortotik; sepatu ortotik

### Abstract

*Flat foot*, is a medical condition characterized by a flatter-than-normal *medial longitudinal arch* (MLA), causing the entire sole of the foot to make close or direct contact with the ground surface. Studies indicate a prevalence of *flat foot* in the adult population ranging from 13.6% to 26.62%, resulting in foot pain and a diminished quality of life. Orthotic shoes present one treatment method for flat feet. This research aims to analyze the correlation between the *arch index* and the rear angle of the foot in individuals with flat feet, as well as to design orthotic shoes and insoles. The methodology involved 5 female students with an *arch index* greater than 0.26, measured through digital sole prints, and the rear angle of the foot assessed using a goniometer. Insole molding design utilized Rhinoceros software and was 3D printed. The insoles were crafted from materials comprising 90% silicone rubber, 10% talc, and 4% hardener of the total. The results indicated that all subjects exhibited flat feet, as evidenced by a non-significant reduction in the *everision angle* at the rear corner of the foot. In conclusion, there exists a correlation between the *arch index* and *everision angle* in flat foot measurements. Additionally, orthotic shoes and insoles can be customized based on 3D scanning results, offering effective treatment and comfort for individuals with flat feet

**Keywords:** *arch index*; *everision angle*; *flat foot*; *orthotic insole*; *orthotic shoes*

### 1. Pendahuluan

*Flat foot* atau lengkung kaki datar merupakan kondisi medis kelengkungan *medial longitudinal arch* (MLA) lebih rata dari biasanya dan seluruh telapak kaki memiliki kontak dekat atau langsung ke permukaan tanah [1]. Penderita *flat foot*, atau pes planus, merupakan kelompok individu yang mengalami penurunan lengkungan kaki, yang dapat mengakibatkan ketidaknyamanan, nyeri kaki, dan bahkan masalah postur tubuh.

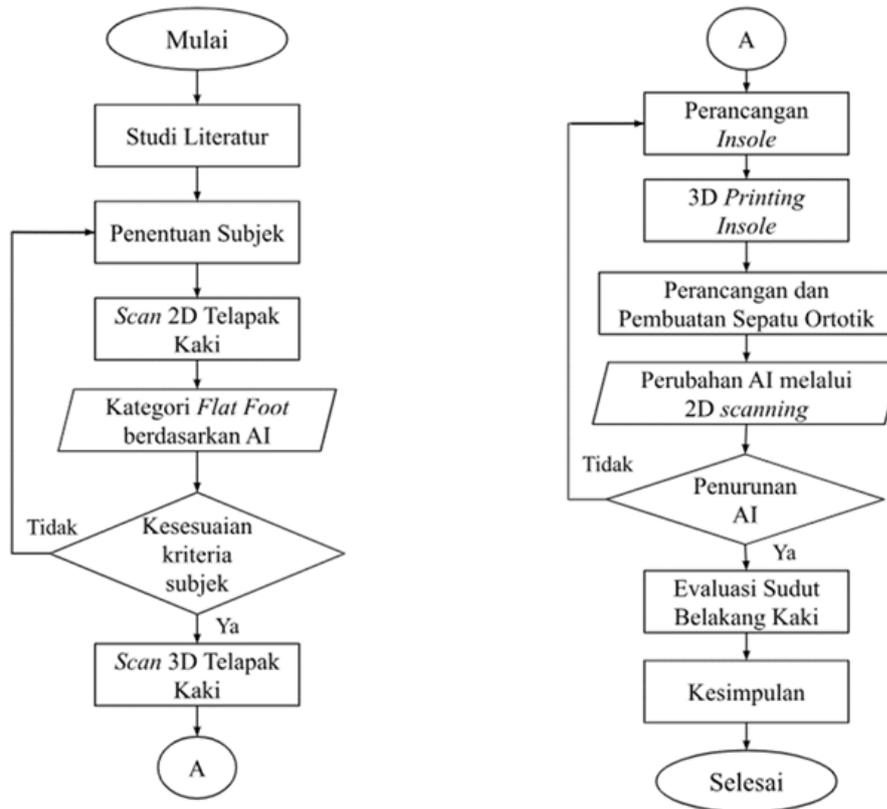
Faktor risiko *flat foot* yaitu riwayat keluarga, obesitas, usia, indeks massa tubuh, panjang kaki, kelemahan ligamen, diabetes, *rheumatoid arthritis*, dan cedera kaki atau pergelangan kaki [2]. *Flat foot* dapat meningkatkan beban kerja struktur kaki sehingga mengganggu fungsi kaki secara normal [3]. Selain itu, *flat foot* memberikan dampak lebih rentan mengalami nyeri kaki, cedera kaki, fraktur stress, nyeri lutut, dan kurangnya performa dalam olahraga [4]. Prevalensi *flat foot* belum diketahui secara jelas karena belum ada kriteria secara radiologis untuk menentukan *flat foot*. Kondisi

lengkung kaki datar atau *flat foot* dapat terjadi di berbagai kelompok usia seperti anak-anak, remaja, dan dewasa. Pada satu studi menunjukkan kelompok dewasa prevalensi *flat foot* sebesar 13,6% hingga 26,62% [5].

Salah satu perawatan penderita lengkungan kaki datar atau *flat foot* adalah penampang lengkungan atau sisipan kaki. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi sepatu menggunakan sisipan sol *orthotic*. Studi penelitian menunjukkan bahwa perawatan tiga bulan menggunakan *insole orthotic* pada orang dewasa memberikan dampak positif mampu meningkatkan lengkungan pada *flat foot* [6]. Lengkungan kaki datar atau *flat foot* terbagi menjadi dua jenis yaitu *flexible flat foot* dan *rigid flat foot*. Perbedaan kedua jenis *flat foot* tersebut, dimana *rigid flat foot* memiliki korelasi dengan kondisi patologis yang diperlukan penanganan khusus sedangkan *flexible flat foot* tidak. Selain itu, perbedaan keduanya adalah, kelengkungan *flexible flat foot* ketika posisi duduk normal sedangkan *rigid flat foot* ketika posisi duduk tidak terdapat lengkungan.

Dalam rangka mengatasi masalah *flat foot*, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang melibatkan kolaborasi antar bidang dan pengembangan teknologi yang lebih canggih. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup penderita *flat foot* dan mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh kondisi ini. Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan membuat sebuah produk untuk penderita *flat foot* yang mampu mengurangi rasa nyeri ketika berjalan pada penderita. Produk tersebut adalah sepatu *orthotic insole* untuk penampang lekungan pada *flat foot*. Hasil akhir tugas akhir adalah prototipe sebuah produk sepatu yang dapat digunakan penderita *flat foot* sehari-hari.

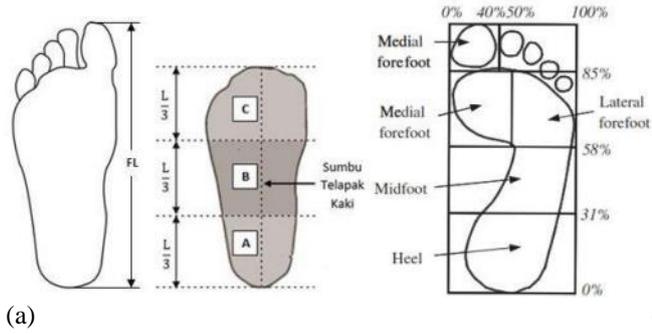
## 2. Bahan dan Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir

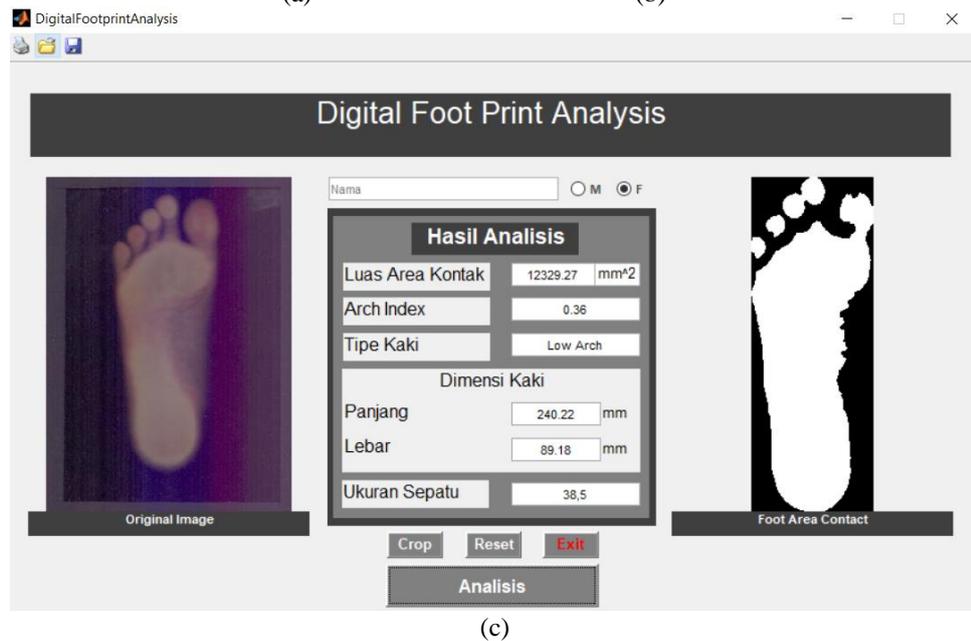
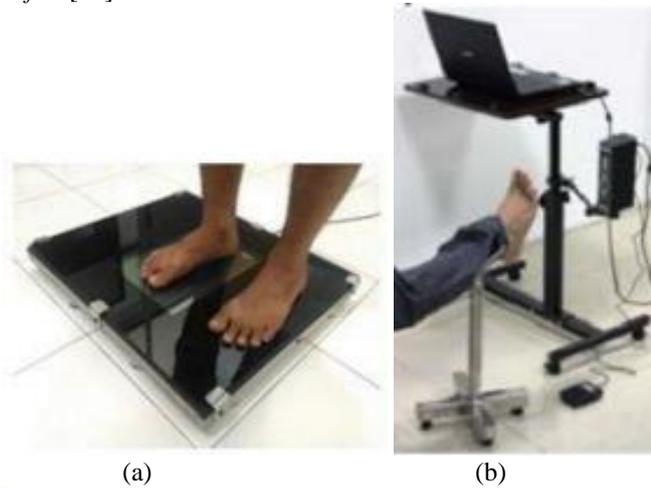
Penelitian ini menggunakan mahasiswa Departemen Teknik Mesin (DTM) Universitas Diponegoro (UNDIP) dengan rentan usia 18-23 tahun dan ukuran sandal atau sepatu >39 (EURO) sebagai subjek penelitian. Pada tahapan ini, subjek yang bersedia diminta untuk melakukan pemindaian 2D telapak kaki dengan beban (*footprint scanning*) dan tanpa beban serta pemindaian 3D telapak kaki. Pemindaian footprint ditujukan untuk memperoleh tipe telapak kaki 2D menggunakan alat *digital footprint scanner*, hasil yang diperoleh berupa *arch index* (AI). Berdasarkan fokus penelitian yaitu mengevaluasi *flat foot* sehingga diperlukan kriteria eksklusi berupa subjek yang nilai AI nya <0.26 (*high arch* atau normal) maka subjek tersebut dieliminasi dari penelitian ini. Selain melakukan pemindaian terhadap telapak kaki, subjek juga diukur berat badan dan tinggi badan untuk mengetahui *Body Mass Index* (BMI).

Identifikasi *flat foot* dapat dilakukan salah satunya dengan pemindaian jejak telapak kaki yang terdiri dari beberapa jenis metode. Sebelum melakukan identifikasi telapak kaki perlu diketahui pembagian area telapak kaki. Secara umum terdapat dua metode yaitu *Cavanagh* [7] dan *Lee Yung-Hui* [8] yang menggunakan panjang telapak kaki sebagai dasar metodenya.



**Gambar 2.** Pembagian area telapak kaki (a) Cavanagh dan (b) Lee Yung-Hui

Salah satu metode dalam pemindaian jejak kaki menggunakan metode *Cavanagh Arch index* (AI) [7]. Pada metode ini menggunakan nilai *arch index* sebagai identifikasi jenis telapak kaki dengan pembagian antara luas area *mid foot* terhadap luas area seluruh telapak kaki tanpa jari-jari kaki:  $AI = B/(A+B+C)$  [7]. Pada penelitian ini untuk mengidentifikasi *flat foot* menggunakan teknologi *digital footprint scanning*, dibuat sendiri dan telah memperoleh paten sederhana a.n. Gunawan DH. dkk.[9], yang berbasis pemindai dokumen (*flatbed document scanner*) ukuran A4 yang dilengkapi dengan *software* [10]. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan *3D Scanner* untuk pemindaian telapak kaki dengan hasil berupa 3D. Penggunaan alat ini dapat mengidentifikasi *flat foot* melalui *arch index* apabila  $AI \geq 0,26$  maka telapak kaki tersebut termasuk *flat foot*[11].

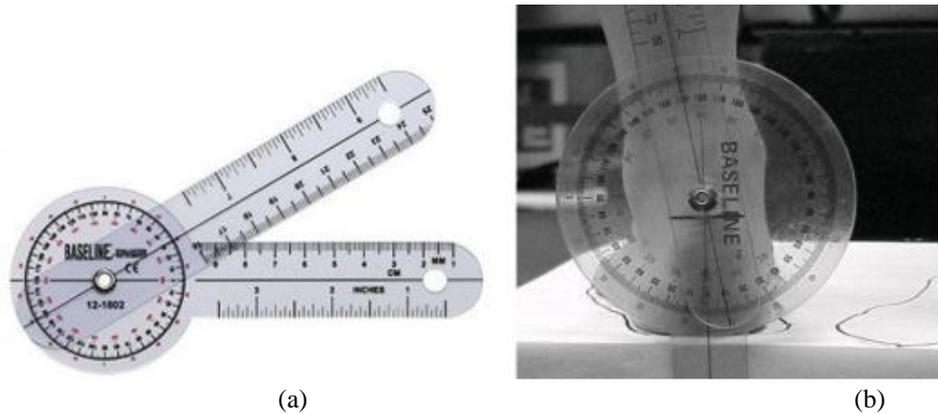


**Gambar 3.** Pemindaian Telapak Kaki dengan (a) *Digital Footprint Scanning* dan (b) *3D Scanner* (c) Aplikasi *Digital Foot Print Analysis*

Identifikasi *flat foot* pada penelitian ini juga menggunakan pengukuran sudut belakang kaki dengan alat goniometer. Studi terdahulu mengatakan bahwa nilai RFA  $\geq 5^\circ$  yang diukur menggunakan goniometer menunjukkan tipe telapak kaki tersebut *flat foot*. Sedangkan nilai RFA  $4^\circ$  menunjukkan bahwa telapak kaki tersebut termasuk normal [12]. Studi mengenai hubungan antara *arch index* (AI) dengan *rear foot angle* (RFA) menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara kedua variabel tersebut dengan koefisien  $R^2$  untuk kaki kiri sebesar 0,63 dan kaki kanan 0,73. Hubungan antar variabel tersebut menghasilkan rumus pengukuran RFA sebagai acuan diagnosis untuk *flat foot* sebagai berikut. Pada Persamaan 1. untuk kaki kiri dan Persamaan 2. untuk kaki kanan [13].

$$RFA=46,04 \text{ AI}-6,41 \quad (1)$$

$$RFA=45,37 \text{ AI}-6,26 \quad (2)$$



**Gambar 4.** (a) Goniometer (b) Pengukuran Sudut Belakang Kaki dengan Goniometer

Tahapan selanjutnya setelah dilakukan proses pemindaian telapak kaki adalah identifikasi koordinat telapak kaki dengan *software* MATLAB. Tahapan ini ditujukan untuk memperoleh koordinat XYZ dari hasil pemindaian 3D telapak kaki. Berikut ini hasil dari identifikasi koordinat telapak kaki pada subjek 1 berupa persamaan polynomial.

**Tabel 1.** Sampel Persamaan Polynomial Hasil *Curve Fitting*

Persamaan Polynomial	Goodness of fit
$f(x,y) = 123.9 - 0.3038x + 0.4152y - 0.009553x^2$ $+ 0.00323xy - 0.001685y^2 + 0.0002525x^3$ $+ 4.047e-05x^2y + 0.0001055xy^2 - 7.364e-05y^3$ $- 1.407e-06x^4 - 4.971e-07x^3y + 4.869e-07x^2y^2$ $- 4.56e-07xy^3 - 7.204e-10y^4 - 3.449e-08x^5$ $+ 3.792e-09x^4y - 2.148e-08x^3y^2 + 6.04e-09x^2y^3$ $- 5.706e-09xy^4 + 4.24e-09y^5$	<p>SSE: 1.2168e+04                      R-square: 0.9826</p>

Berdasarkan hasil *curve fitting* pada persamaan *polynomial* orde lima di atas, *R-square* yang didapat adalah 0.9826 atau 98.26%. Hal tersebut mengindikasikan besarnya kombinasi variabel atau koordinat-koordinat x, y dan z. Berdasarkan hasil *curve fitting* di atas, nilai koefisien determinasi telah melebihi 0.8, maka hasil pemindaian valid untuk dilanjutkan ke tahap perancangan. Hasil pemindai telapak kaki yang telah diperoleh dapat dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan *moulding insole*. Pembuatan *moulding insole* menggunakan *software* Rhinoceros terbagi menjadi dua yaitu *surface* atas dan bawah yang disesuaikan dengan anatomi dan kontur kaki setiap subjek sesuai dengan pembagian area berdasarkan metode Cavanagh. Desain *moulding insole* yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan percetakan 3D *printing* menggunakan filamen PLA.



**Gambar 5.** Hasil Percetakan 3D Printing Moulding Insole

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan *insole* dengan tiga bahan yang terdiri dari *silicone rubber* dengan konsentrasi 90%, *talca* 10%, dan *hardener* 4% dari total keseluruhan. *Insole* yang telah terbentuk, maka tahapan selanjutnya adalah pembuatan sepatu. Pembuatan sepatu ini dilakukan bersama dengan pengrajin sepatu. Proses pembuatan sepatu terdiri dari empat tahapan yaitu pembuatan pola sepatu, perekatan pola sepatu dengan kertas keras, dan pengeleman sepatu dengan *outsole*. Proses pembuatan sepatu ini membutuhkan waktu kurang lebih 3 hari.



Gambar 6. Hasil Akhir Pembuatan Sepatu

### 3. Hasil dan Pembahasan

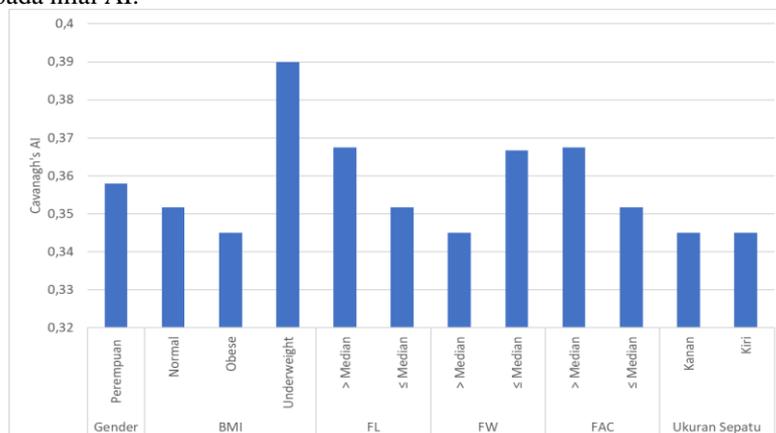
#### 3.1. Karakteristik Subjek

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran berat badan dan tinggi badan menggunakan alat ukur BMI yang dapat menunjukkan subjek termasuk kurus, normal, atau gemuk. Hasil yang diperoleh dari 5 subjek yaitu rata-rata berat badan sebesar 55,8 kg, tinggi badan sepanjang 160 cm, dan BMI sebesar 21,8 kg/m<sup>2</sup>. Pengukuran BMI bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan dengan AI. Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil evaluasi terhadap AI pada 5 subjek penelitian, mahasiswa Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Pemindaian pada telapak kaki dilakukan secara bergantian antara telapak kaki kiri dan kaki kanan. Hal tersebut dikarenakan alat untuk scan di Laboratorium CNC hanya satu sehingga pemindaian 2D berbeban, tidak berbeban. Nilai rata-rata AI yang diperoleh dari pemindaian telapak kaki pada kaki kanan dan kiri sebesar 0,35 dan 0,36.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Berat Badan, Tinggi Badan, BMI, dan AI

No.	Umur (thn)	Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	AI		Rata-Rata AI
					Kanan	Kiri	
1.	20	49	150	21,8	0,36	0,33	0,345
2.	20	45	167	16,1	0,37	0,41	0,39
3.	20	80	161	30,9	0,35	0,34	0,345
4.	20	56	160	21,9	0,34	0,35	0,345
5.	20	49	160	19,1	0,34	0,39	0,365

Rujukan utama dalam merancang *insole* sepatu untuk penanganan *flat foot* adalah parameter-parameter yang berasal dari berbagai metode pengukuran. Parameter tersebut dihasilkan melalui pemindaian 3D dan pengukuran sudut belakang kaki sebagai evaluasi hasil desain. Proses pemindaian 3D telapak kaki dilakukan dengan menggunakan Teknologi Pemindaian Vismach buatan China. Dalam kelompok subjek yang mengalami flatfoot, penelitian Tugas Akhir ini menemukan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara Indeks Massa Tubuh (BMI) dan Area Jejak Telapak Kaki dalam dua dimensi (AI). Koefisien regresi yang tercatat hanya sebesar  $r = 0.2$ . Hasil ini menyoroti bahwa, meskipun subjek mungkin memiliki berat badan di bawah normal (BMI < 18.4 kg/m<sup>2</sup>), normal (BMI antara 18.5 - 22.9 kg/m<sup>2</sup>), atau bahkan di atas normal (BMI > 23.0 kg/m<sup>2</sup>) sesuai dengan klasifikasi World Health Organization (2010), namun hal tersebut tidak berdampak pada nilai AI.



Gambar 7. Grafik Korelasi antara AI dengan Karakteristik Subjek

### 3.2. Hasil Perancangan

Software Rhinoceros dan hasil pemindaian 3D pada telapak kaki digunakan sebagai alat bantu untuk perancangan *insole* untuk kontur penyangga pada *area medial*. Selain itu, dengan bantuan tersebut dihubungkan dengan parameter lain yang telah dilakukan pada penelitian ini sehingga dapat dihasilkan desain kontur sisipan pada *area medial*.



Gambar 8. Hasil Perancangan Sepatu



Gambar 9. Hasil Perancangan *Insole*

### 3.3. Pengukuran Sudut Belakang Kaki

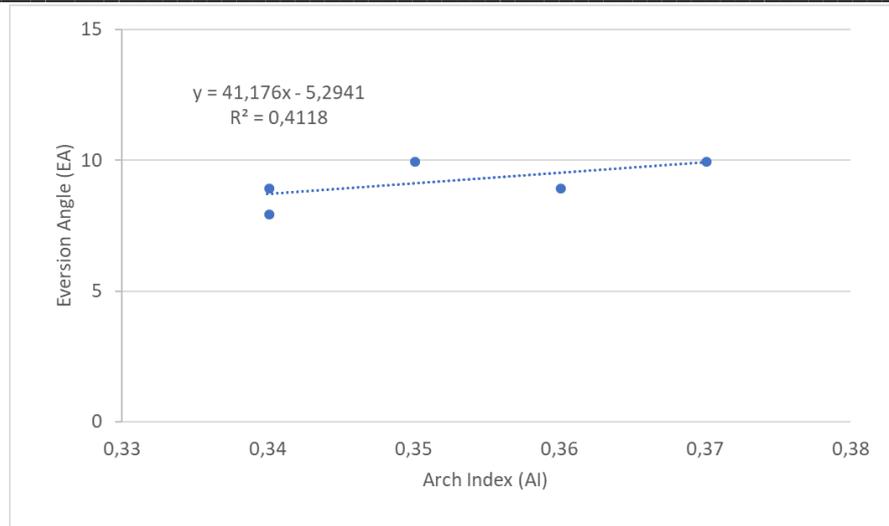
Penilaian sudut belakang terhadap subjek dilakukan dengan menggunakan goniometer manual yang memiliki ketelitian 1°. Proses pengukuran dilaksanakan saat subjek berdiri secara santai di atas permukaan datar, baik tanpa maupun dengan menggunakan kontur penyangga. Hasil pengukuran sudut belakang kaki dapat dilihat pada Tabel 2, dimana EA awal merupakan nilai EA sebelum menggunakan *insole* dan EA akhir merupakan nilai EA setelah menggunakan *insole*.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Sudut Belakang Kaki

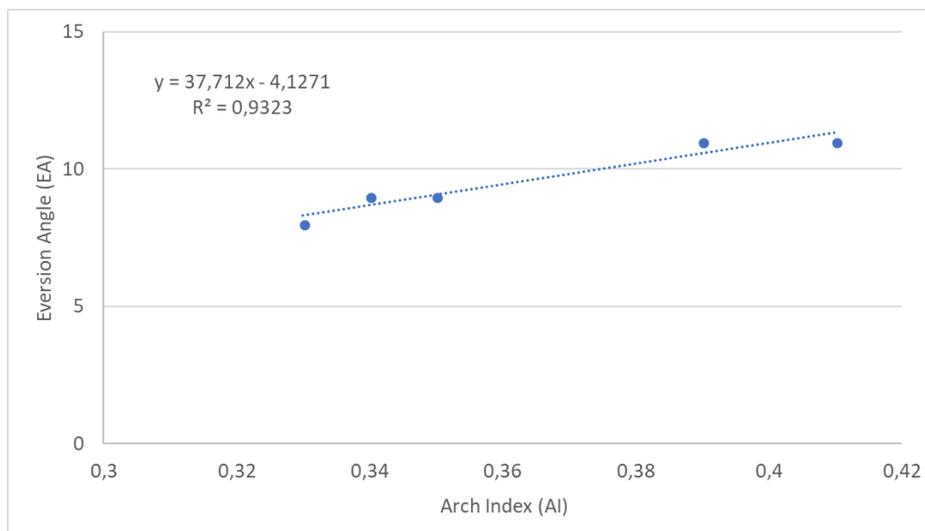
No.	EA Awal		EA Akhir	
	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
1.	9°	8°	8°	8°
2.	10°	11°	9°	10°
3.	10°	9°	10°	9°
4.	8°	9°	7°	8°
5.	9°	11°	8°	11°

Evaluasi menunjukkan efektivitas penggunaan kontur penyangga dalam mengurangi *eversion angle*, terlihat pada subjek pertama dan kelima dengan penurunan 1° pada kaki kanan. Sementara pada subjek kedua dan keempat terdapat penurunan EA 1° baik pada kaki kanan maupun kaki kiri. Sedangkan Pada subjek ketiga tidak terjadi penurunan nilai EA baik pada kaki kanan maupun kaki kiri. Pendekatan desain berbasis anatomi dan kontur telapak kaki hasil pemindaian 3D mendukung keefektifan penggunaan kontur penyangga.

Berdasarkan data yang telah diperoleh dapat dilakukan analisis hubungan antara AI dan EA dengan bantuan software Microsoft Excel. Hasil menunjukkan nilai koefisien korelasi R2 untuk kaki kanan dan kaki kiri sebesar 0,41 dan 0,93, maka terdapat hubungan antara AI dengan EA. Berdasarkan hasil yang telah ditemukan, nilai minimum EA sebesar 8° dengan AI sebesar 0,34 pada kaki kanan. Sedangkan pada kaki kiri nilai minimum EA sebesar 8° dengan AI sebesar 0,33. Berikut ditunjukkan grafik hasil analisis korelasi antara EA dengan AI.



**Gambar 9.** Grafik Korelasi EA dan AI Kaki Kanan



**Gambar 10.** Grafik Korelasi EA dan AI Kaki Kiri

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemahaman mengenai rancang bangun sepatu ortotik penderita *flat foot* dan memungkinkan pembuatan beberapa kesimpulan. Adanya korelasi yang sejalan antara *arch index* dan *eversion angle* dapat diperhatikan melalui hasil pengukuran pada kondisi *flat foot*. Perbandingan ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi nilai *arch index* pada telapak kaki seseorang, semakin besar *eversion angle* yang dimilikinya. Selain itu, Desain *area media* untuk kontur penyangga mengikuti hasil pemindaian 3D dari telapak kaki subjek. Kontur penyangga diproduksi melalui teknologi pencetakan 3D dalam jumlah dua pasang. Penerapan kontur penyangga (*shoe-insole*) sebagai strategi penanganan *flat foot* dapat memberikan rasa nyaman dan mengurangi rasa nyeri.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Aenumulapalli A, Kulkarni MM, Gandotra AR. Prevalence of flexible flat foot in adults: A cross-sectional study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 2017;11:AC17–20. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/26566.10059>.
- [2] Dabholkar T, Agarwal A. Quality of Life in Adult Population with Flat Feet. *International Journal of Health Sciences and Research (Www.IjhsrOrg)* 2020;10:193.
- [3] Djaali W, Mighra BA. Pengeluaran Energi Selama Berjalan Pada Lengkung Kaki Datar (Flat Foot). *Jurnal Ilmiah Kesehatan* 2022;14:264–9. <https://doi.org/10.37012/jik.v14i2.1052>.

- [4] Alsuhaymi A, Almohammadi F, Alharbi O, Alawfi A, Olfat M, Alhazmi O, et al. Flatfoot among school-age children in Almadinah Almunawwarah: Prevalence and risk factors. *Journal of Musculoskeletal Surgery and Research* 2019;3:204. [https://doi.org/10.4103/jmsr.jmsr\\_89\\_18](https://doi.org/10.4103/jmsr.jmsr_89_18).
- [5] Pita-fernandez S. Flat Foot in a Random Population and its Impact on Quality of Life and Functionality. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH* 2017;11:22–7. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24362.9697>.
- [6] Zhai JN, Qiu YS, Wang J. Effects of orthotic insoles on adults with flexible flatfoot under different walking conditions. *J Phys Ther Sci* 2016;28:3078–83. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.3078>.
- [7] Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. *J Biomech* 1987;20:547–51. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7).
- [8] Yung-Hui L, Wei-Hsien H. Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking. *Appl Ergon* 2005;36:355–62. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.11.001>.
- [9] Haryadi GD, Wibowo DB, Suprihanto A, Ariyanto M. Metode Pemindaian Digital Untuk Evaluasi Parameter Dimensi Dan Identifikasi Jenis Telapak Kaki. SID201803690, 2019.
- [10] Haryadi GD, Wibowo DB, Suprihanto A, Ariyanto M. Metode Pemindaian Digital Untuk Evaluasi Parameter Dimensi Dan Identifikasi Jenis Telapak Kaki. SID201803690, 2019.
- [11] Halabchi F, Mazaheri R, Mirshahi M, Abbasian L. Pediatric flexible flatfoot; clinical aspects and algorithmic approach. *Iran J Pediatr* 2013;23:247–60.
- [12] Hunt AE, Fahey AJ, Smith RM. Static measures of calcaneal deviation and arch angle as predictors of rearfoot motion during walking. *Australian Journal of Physiotherapy* 2000;46:9–16. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60309-3](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60309-3).
- [13] Umardani Y, Wibowo DB, Caesarendra W, Suprihanto A, Pranoto KA. Calculation of the Rearfoot Angle Representing Flatfoot from Comparison to the Cavanagh Arch Index. *Applied Sciences* 2022;12:6764. <https://doi.org/10.3390/app12136764>.