

RANCANG BANGUN SOL SEPATU *ORTHOTIC* UNTUK PENDERITA *FLATFOOT*

*Dwi Basuki Wibowo¹, Yusuf Umardani¹, Nofa Karsa Mustadzanah²

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: nk.mustadzanah@gmail.com

Abstrak

Telapak kaki merupakan salah satu organ tubuh manusia yang memiliki peran penting untuk beraktifitas. Dengan kondisi telapak kaki yang sehat, maka seseorang akan lebih seimbang ketika menopang beban tubuhnya. Tipe telapak kaki manusia dibagi menjadi tiga, yaitu telapak kaki normal, telapak kaki *high arch* (*pes cavus*) dan *flat foot* (*low arch* atau *pes planus*). Dikategorikan *high arch* apabila $AI \leq 0.21$, normal apabila $0.26 \geq AI > 0.21$ dan *flat foot* apabila $AI > 0.26$. Kondisi *flat foot* dapat membuat seseorang mudah lelah saat berjalan atau berlari, karena kemampuan penyerapan beban kejutnya menurun. Apabila kondisi tersebut diperparah oleh jaringan otot telapak kaki yang lemah, dampak lainnya membuat penderita akan mengalami nyeri pada tumit. Penelitian tugas akhir ini mengevaluasi *flat foot* hasil pemindaian 2D dan pemindaian 3D terhadap sudut belakang kaki serta pembuatan *shoe insole*. Proses perancangan menggunakan *software* Rhinoceros 7 dan proses manufaktur dengan cara cetak 3D. Hasil perancangan didistribusikan pada lima subjek untuk dilakukan evaluasi dampak penggunaan *shoe insole* yang terdapat sisipan. Berdasarkan hasil evaluasi *shoe-insole*, pemakaian *shoe insole* terbukti efektif dalam mengurangi derajat *flat foot*. Hal ini dibuktikan dengan subjek nomor 2 derajat *flat foot* kaki kirinya berkurang 4° dan derajat *flat foot* kaki kanan berkurang 1° begitupun pada subjek nomor 1 derajat *flat foot*-nya berkurang 3° untuk masing-masing kaki.

Kata kunci: *arch index; eversion angle; flat foot; shoe-in sole*

Abstract

The soles of the feet are one of the organs in the human body that has a vital role for activities. With healthy feet, a person will be more balanced when supporting his body's weight. The type of human feet are divided into three, there are normal foot, high arch (pes cavus) and flat foot (low arch or pes planus). It is categorized as high arch if $AI \leq 0.21$, normal if $0.26 \geq AI > 0.21$ and flat foot if $AI > 0.26$. Flat foot conditions could make a person easily tired when walking or running, because his absorption of shock load decreased. If the condition is exacerbated by weak foot muscle tissue, the other effects will cause the sufferer to experience pain in the heel. In this research, this final project evaluated the flat foot from 2D and the 3D scanned of the back angle of the foot and making shoe insole. The design process uses Rhinoceros 7 software and the manufacturing process by 3D printing. The design results were distributed to five subjects for an impact study on the wearing of contour supports. Based on the evaluation, the wearing support contour has been proven to be effective in reducing degree flat foot. This is evidenced by number two of subject's degree the flat foot decreased by 4° (left foot) and the flat foot degree of the right foot decreased by 1° . And there was a decreased in subject number one by 3° on each foot.

Keywords: *arch index; eversion angle; flat foot; shoe-in sole*

1. Pendahuluan

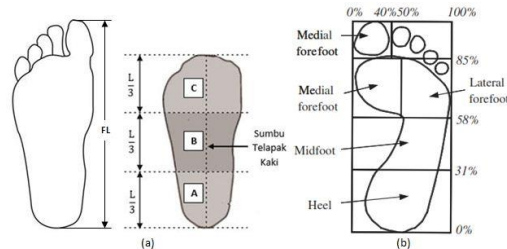
Kaki rata (*flat foot*) sering terjadi pada anak-anak dan terkadang juga pada remaja. *Flat foot* adalah suatu kondisi lengkungan di *medial arch* terlalu kecil sehingga ketika berdiri sebagian besar telapak kaki di daerah *arch* menyentuh landasan. Seseorang dengan telapak kaki *flat foot* [1] biasanya mudah lelah saat beraktifitas berjalan atau berlari, karena kemampuan penyerapan beban kejutnya menurun.

Indikasi *flat foot* dapat diketahui dari *footprint scanning* saat berdiri (Paten a.n. Gunawan dkk) dan metode evaluasinya bisa menggunakan *Cavanagh Arch Index* (AI), *Rao & Joseph*, dll. Indikasi adanya *flat foot* dapat juga dilihat dari pengamatan visual sudut belakang kaki [2]. *FAC* (*foot area contact*) berbentuk citra 2D diperoleh dari hasil *footprint scanning* dan luas areanya dihitung menggunakan Matlab. Sedangkan telapak kaki kondisi tak berbeban berbentuk citra 3D diperoleh dari hasil pemindaian 3D dan luas areanya dihitung menggunakan *software* Rhinoceros [3]. Dari hasil penelitian lainnya juga diperoleh korelasi signifikan antara *body mass index* (BMI) terhadap RFA pada tipe telapak kaki *flat foot* ($p\text{-value} < 0.01$), yang menunjukkan semakin besar BMI semakin besar pula nilai RFA-nya [4].

Terdapat dua tipe *flat foot* yaitu *fixed flat foot* dan *flexible flat foot*. Perbedaan ke duanya terletak pada tipe telapak kakinya saat berbaring telentang (tidak bebahan). Saat ini penentuan perbedaan ke dua tipe *flat foot* tersebut masih belum jelas [5]. Sejauh ini yang masih terus diteliti adalah *flexible flat foot* bisa dikembalikan ke telapak kaki normal menggunakan sepatu atau sol sepatu *orthotic* [6] yang di sisi bagian dalam (*medial*) *arch* terdapat sisipan. Oleh karena itu, atas dasar permasalahan tersebut maka penelitian ini penting untuk dilakukan sebagai upaya penanganan terhadap penderita *flat foot* dan belum banyak peneliti yang menghubungkan korelasi antara *arch index* dengan sudut belakang kaki

2. Dasar Teori dan Metodologi

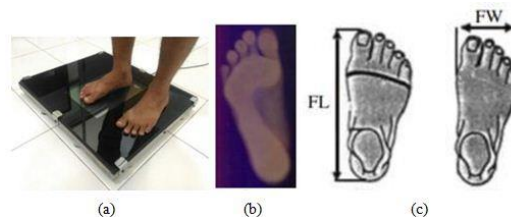
Terdapat dua metode pembagian telapak kaki yang sering digunakan sebagai acuan karena pembagiannya dalam bentuk kuantitatif yaitu metode *Cavanagh* Gambar 1a [1] dan *Lee Yung-Hui* Gambar 1b [7].



Gambar 1. Pembagian area telapak kaki menurut (a) Cavanagh dan (b) Lee Yung-Hui.

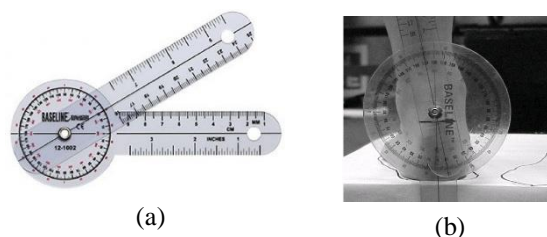
Area Arch telapak kaki manusia dibagi menjadi tiga bagian yaitu anterior transverse arch, lateral longitudinal arch, dan medial longitudinal arch. Pada penelitian ini yang dimaksudkan adalah medial longitudinal arch. Tipe telapak kaki diketahui dari hasil *footprint*, baik menggunakan *wet foot test* maupun pemindaian secara digital. Identifikasi tipe telapak kaki dari pemindaian jejak telapak kaki (*footprint scanning*) [4] bisa dilakukan menggunakan *Cavanagh Arch Index* (AI) [1] Rao & Joseph [8], *Clark Angle* atau *Staheli Arch Index* [9]. Pada penelitian ini digunakan metode *Cavanagh* yang mengklasifikasikan tipe telapak kaki dari rentang nilai *arch index* (*AI range*) yaitu hasil pembagian antara luas area *mid foot* terhadap luas area seluruh telapak kaki tanpa jari-jari kaki (lihat Gambar 1a): $AI = \frac{\text{Area B}}{\text{Area (A+B+C)}}$ [1]. Disebut *high arch* apabila $AI \leq 0.21$, normal apabila $0.26 \geq AI > 0.21$, dan disebut *flat foot* apabila $AI > 0.26$.

Alat *digital footprint scanning* seperti diperlihatkan pada Gambar 2 dibuat berbasis pemindai dokumen (*flatbed document scanner*) ukuran A4 yang dilengkapi software untuk mengetahui ukuran sepatu, panjang kaki, lebar kaki, tipe telapak kaki [3].



Gambar 2. Pemindaian 2D telapak kaki: (a) alat digital footprint scanning, (b) hasil pemindaian telapak kaki, (c) parameter FL dan FW untuk menentukan ukuran sepatu

Sudut belakang kaki adalah sudut yang terbentuk antara garis yang melalui *achilles tendon* dan tumit bagian belakang (*posterior heel/calcaneus*) saat seseorang berdiri, yang batas perpotongan ke dua garisnya bisa diketahui dengan cara *palpasi*. Metode pengamatan sudut belakang kaki [10] juga digunakan untuk mengetahui perubahan sudutnya saat penderita menggunakan sol sepatu *orthotic*. Pengukuran sudut belakang kaki bisa dilakukan sekarang menggunakan Goniometer, seperti terlihat pada Gambar 2.11.



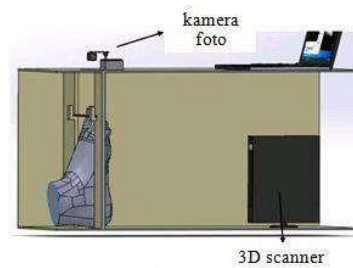
Gambar 3. (a) Goniometer (b) Mengukur sudut belakang kaki dengan goniometri

Subyek yang terindikasi *flatfoot* saat menggunakan sepatu *orthotic* tidak dapat diketahui/diukur nilai AI-nya dengan cara 2D footprint. Yang bisa dilakukan adalah mengukur sudut belakang kaki (RFA: rear foot angle). Untuk itu diperlukan validasi hasil pengukuran RFA terhadap AI. Penelitian yang dilakukan sebelumnya menunjukkan subyek

terindikasi flatfoot bila $RFA \geq 5^\circ$. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Yusuf U. et al pada 31 subyek mahasiswa DTM UNDIP penderita flatfoot menghasilkan korelasi AI dan RFA seperti terlihat pada persamaan (1). Dimana untuk $AI \geq 0,26$ diperoleh $RFA \geq 4,3^\circ$

$$RFA = 59,23AI - 10,97 \quad (1)$$

Pemindaian 2D telapak kaki berbeban menggunakan alat *digital footprint scanning* untuk mengetahui derajat *flat foot* pasien dari nilai AI-nya (lihat Tabel 1) [3]. Pemindaian 3D telapak kaki dilakukan untuk mengevaluasi AI dalam kondisi tak berbeban. Hasil pemindaian ini berbentuk kontur telapak kaki yang diperoleh dari alat 3D *scanner* seperti diperlihatkan pada Gambar 4 (ScanPod3D, 2013).



Gambar 4. Pemindaian telapak kaki tak berbeban menggunakan 3D scanner

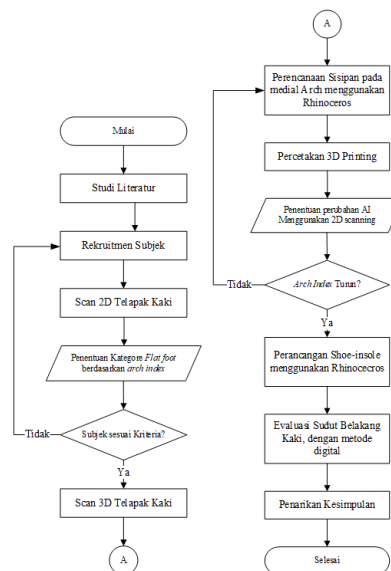
Setelah memperoleh hasil 3D scan, kemudian yaitu melakukan validasi hasil 3D scan yang telah di-generate menjadi koordinat XYZ untuk dilakukan *curve fitting* pada *software* matlab. *Curve fitting* dilakukan dengan *plotting* koordinat tersebut menjadi persamaan polynomial orde 5 dan dihasilkan nilai koefisien determinasi (*r-square*). Apabila nilai *r-square* $> 0,8$ maka penulis simpulkan bahwa hasil pemindaian dan *pemindai scanner* valid untuk dilakukan penelitian. Apabila nilainya $< 0,8$ penulis menyimpulkan proses pemindaian 3D perlu diulang kembali untuk meminimalisir kelalaian.

Sol sepatu *orthotic* untuk penderita *flat foot* tidak bisa diproduksi massal karena kontur di area *arch* setiap orang (lokasi *medial anterior* dan *posterior* dan kontur lengkungan dalam arah *medial*) tidaklah sama meskipun ukuran sepatunya sama, seperti diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sol sepatu *orthotic* tidak bisa diproduksi massal.

Diagram alir penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir

3. Analisis dan Pembahasan

Sesuai dengan metode yang tertera diatas, diperoleh data yang dihasilkan dari alat *digital footprint scanning*. Untul datanya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data parameter subjek penelitian

Nama	Gender	AI		Sudut Belakang Kaki		Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	BMI (kg/m ²)
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri			
A	P	0.41	0.40	6	9	55.4	154	23.4
R	P	0.36	0.36	5	15	56.5	160	22.1
M	L	0.37	0.31	10	10	60	170	20.8
D	L	0.25	0.26	6	14	64.4	168	22.8
S	L	0.39	0.37	15	16	60.75	161	23.4
Rata – Rata		0,356	0,34	8,4	12,8	59.41	162.6	22.5

Keterangan:

L : Laki – laki

P : Perempuan

Tujuan pengukuran BMI adalah mengetahui korelasi kondisi tubuh terhadap identifikasi awal *flat foot*. Mengacu pada World Health Organization, seseorang dikategorikan kurus apabila ($BMI < 18.4 \text{ kg/m}^2$), normal apabila ($18.4 < BMI < 22.9$) dan kegemukan apabila ($BMI > 22.9 \text{ kg/m}^2$).

Pada pemindaian 3D telapak kaki yang sudah di generate menjadi koordinat XYZ dan kemudian dilakukan *curve fitting* dimana jika nilai r-square kurang dari sama dengan 0,8 maka perlu dilakukan kembali proses pemindaian 3D. Fungsi telapak kaki subjek mahasiswa Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang telah terindikasi *flat foot* tersebut penulis tampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah.

Tabel 2. Fungsi telapak kaki kanan subjek penelitian

No Subjek	Persamaan <i>Polynomial</i>	<i>Goodness of Fit</i>
1.	$f(x,y) = 146.5 - 11.32x + 8.564y + 1.077x^2 + 3.713xy - 1.974y^2 + 2.975x^3 + 3.697x^2y + 11.82xy^2 - 7.249y^3 - 1.534x^4 - 1.018x^3y - 0.9895x^2y^2 - 0.3401xy^3 - 0.003279y^4 + -0.5804x^5 - 0.7059x^4y - 1.478x^3y^2 + 0.04969x^2y^3 - 1.608xy^4 + 1.766y^5$	R-square: 0.964
2.	$f(x,y) = 131.6 - 0.1517x + 0.1837y - 0.00762x^2 + 0.004722xy - 0.0001706y^2 + 0.0002906x^3 + 9.092 \times 10^{-5}x^2y + 7.857 \times 10^{-5}xy^2 - 3.543 \times 10^{-5}y^3 - 3.784 \times 10^{-6}x^4 - 1.286 \times 10^{-6}x^3y - 6.011 \times 10^{-7}x^2y^2 - 3.108 \times 10^{-7}xy^3 - 8.939 \times 10^{-8}y^4 - 1.319 \times 10^{-8}x^5 + 1.32 \times 10^{-8}x^4y - 8.805 \times 10^{-9}x^3y^2 - 5.719 \times 10^{-9}x^2y^3 - 3.228 \times 10^{-9}xy^4 + 2.151 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9376
3.	$f(x,y) = 131.6 - 0.1517x + 0.1837y - 0.00762x^2 + 0.0004722xy - 0.0001706y^2 + 0.0002906x^3 + 9.092 \times 10^{-5}x^2y + 7.857 \times 10^{-5}xy^2 - 3.543 \times 10^{-5}y^3 - 3.784 \times 10^{-6}x^4 - 1.286 \times 10^{-6}x^3y - 6.011 \times 10^{-7}x^2y^2 - 3.018 \times 10^{-7}xy^3 - 8.939 \times 10^{-8}y^4 - 1.319 \times 10^{-8}x^5 + 1.32 \times 10^{-8}x^4y - 8.805 \times 10^{-9}x^3y^2 + 5.719 \times 10^{-9}x^2y^3 - 3.228 \times 10^{-9}xy^4 + 2.151 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9376
4.	$f(x,y) = 140.6 - 0.4563x + 0.2985y - 0.002136x^2 + 0.0006575xy + 0.002269y^2 + 0.0001636x^3 + 5.612 \times 10^{-5}x^2y + 0.0001135xy^2 - 5.304 \times 10^{-5}y^3 - 2.906 \times 10^{-6}x^4 - 4.696 \times 10^{-7}x^3y - 1.128 \times 10^{-6}x^2y^2 - 3.323 \times 10^{-7}xy^3 - 3.115 \times 10^{-7}y^4 - 2.812 \times 10^{-8}x^5 + 5.262 \times 10^{-9}x^4y - 4.693 \times 10^{-10}x^3y^2 + 8.758 \times 10^{-9}x^2y^3 - 3.083 \times 10^{-9}xy^4 + 3.354 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9692
5.	$f(x,y) = 142.3 - 0.2729x + 0.2661y - 0.0039676x^2 - 0.002901xy + 0.001163y^2 + 0.0001989x^3 + 0.000108x^2y + 9.245 \times 10^{-5}xy^2 - 3.076 \times 10^{-5}y^3 - 3.163 \times 10^{-6}x^4 + 1.55 \times 10^{-7}x^3y - 1.507 \times 10^{-7}x^2y^2 + 1.655 \times 10^{-7}xy^3 - 1.99 \times 10^{-7}y^4 - 1.315 \times 10^{-8}x^5 - 2.109 \times 10^{-8}x^4y - 1.842 \times 10^{-8}x^3y^2 + 6.724 \times 10^{-10}x^2y^3 - 2.824 \times 10^{-9}xy^4 + 1.902 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.985

Tabel 1. Fungsi telapak kaki kiri subjek penelitian

No Subjek	Persamaan <i>Polynomial</i>	<i>Goodness of Fit</i>
1.	$f(x,y) = 124.3 + 0.3371x + 0.1234y - 0.001402x^2 + 0.0001721xy + 0.003435y^2 + 0.0001162x^3 + 0.0001491x^2y - 2.786 \times 10^{-5}xy^2 - 2.162 \times 10^{-5}y^3 - 6.744 \times 10^{-6}x^4 - 1.012 \times 10^{-6}x^3y - 2.108 \times 10^{-6}x^2y^2 - 6.75 \times 10^{-7}xy^3 - 4.478 \times 10^{-7}y^4 + 4.787 \times 10^{-8}x^5 - 1.126 \times 10^{-8}x^4y + 2.507 \times 10^{-8}x^3y^2 + 8.115 \times 10^{-9}x^2y^3 - 4.073 \times 10^{-9}xy^4 + 2.797 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9665
2.	$f(x,y) = 142 + 0.237x + 0.2402y - 0.002241x^2 - 0.002979xy + 0.001617y^2 + 0.0002724x^3 + 4.72 \times 10^{-5}x^2y - 3.821 \times 10^{-5}xy^2 - 4.731 \times 10^{-5}y^3 - 9.845 \times 10^{-6}x^4 + 6.138 \times 10^{-7}x^3y - 7.712 \times 10^{-7}x^2y^2 - 1.9 \times 10^{-7}xy^3 - 1.828 \times 10^{-7}y^4 + 7.023 \times 10^{-8}x^5 - 4.89 \times 10^{-9}x^4y + 2.23 \times 10^{-9}x^3y^2 + 1.04 \times 10^{-8}x^2y^3 + 2.229 \times 10^{-9}xy^4 + 2.544 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.91
3.	$f(x,y) = 115 + 0.6059x + 0.09714y - 0.001812x^2 - 0.0005056xy + 0.003113y^2 + 0.0001512x^3 + 9.23 \times 10^{-5}x^2y - 8.951 \times 10^{-5}xy^2 - 2.828 \times 10^{-5}y^3 - 7.666 \times 10^{-6}x^4 + 1.217 \times 10^{-6}x^3y - 1.412 \times 10^{-6}x^2y^2 - 3.53 \times 10^{-7}xy^3 - 2.568 \times 10^{-7}y^4 + 5.598 \times 10^{-8}x^5 - 2.114 \times 10^{-8}x^4y + 2.453 \times 10^{-8}x^3y^2 + 3.945 \times 10^{-10}x^2y^3 + 4.01 \times 10^{-9}xy^4 + 2.129 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9336
4.	$f(x,y) = 124.3 + 0.5561x + 0.217y - 0.002927x^2 - 0.0007146xy + 0.004123y^2 + 0.0002264x^3 + 7.288 \times 10^{-5}x^2y - 7.713 \times 10^{-5}xy^2 - 4.398 \times 10^{-5}y^3 - 5.828 \times 10^{-6}x^4 + 1.331 \times 10^{-6}x^3y - 1.564 \times 10^{-6}x^2y^2 - 1.938 \times 10^{-7}xy^3 - 3.775 \times 10^{-7}y^4 + 2.321 \times 10^{-8}x^5 - 1.725 \times 10^{-8}x^4y + 1.106 \times 10^{-8}x^3y^2 + 6.924 \times 10^{-9}x^2y^3 + 4.644 \times 10^{-9}xy^4 + 2.979 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.961
5.	$f(x,y) = 129.4 + 0.5796x + 0.1159y - 0.005734x^2 - 0.001539xy + 0.004086y^2 + 0.0002261x^3 + 7.491 \times 10^{-5}x^2y - 5.827 \times 10^{-5}xy^2 - 4.035 \times 10^{-6}y^3 - 5.806 \times 10^{-6}x^4 + 9.761 \times 10^{-7}x^3y - 1.456 \times 10^{-6}x^2y^2 - 3.728 \times 10^{-7}xy^3 - 4.582 \times 10^{-7}y^4 + 2.131 \times 10^{-8}x^5 - 7.824 \times 10^{-9}x^4y + 1.898 \times 10^{-8}x^3y^2 + 3.203 \times 10^{-9}x^2y^3 + 4.447 \times 10^{-9}xy^4 + 2.195 \times 10^{-9}y^5$	R-square: 0.9881

Proses perancangan kontur penyangga pada *area medial* dibuat dengan perangkat lunak Rhinoceros 3D yang memanfaatkan kontur pada 3D scan. Setelah menghubungkan parameter dalam perancangan, maka desain kontur sisipan pada *area medial* dapat dilihat pada Gambar 7. Setelah desain kontur sisipan dirancang, maka langkah selanjutnya adalah tahap pencetakan 3D. Hasil akhir kontur sisipan setelah dicetak 3D dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Hasil shoe insole sebagai upaya penanganan flat foot.

Hasil perhitungan dan pembagian batas area arch index dari telapak kaki subjek dihitung menggunakan bantuan excel. Hasil perhitungannya sebagai berikut:

- a. Subjek 1
 Kaki Kanan
 FL = 245 mm
 Batas Awal (31% FL) = 75.95
 Batas Akhir (58% FL) = 142.1

Tabel 4. Hasil perhitungan batas arch index kaki kanan subjek 1

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-22.97836	-22.92836
Y akhir	(c2+batas akhir)	-43.17164	43.00736

- Kaki Kiri
 FL = 240 mm
 Batas Awal (31% FL) = 74.4
 Batas Akhir (58% FL) = 139.2

Tabel 5. Hasil perhitungan batas arch index kaki kiri subjek 1

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-15.35938	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	49.44062	49.392036

- b. Subjek 2
 Kaki Kanan
 FL = 235 mm
 Batas Awal (31% FL) = 72.85
 Batas Akhir (58% FL) = 136.3

Tabel 6. Hasil perhitungan batas arch index kaki kanan subjek 2

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-39.59879	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	23.85121	23.144241

- Kaki Kiri
 FL = 435 mm
 Batas Awal (31% FL) = 72.85
 Batas Akhir (58% FL) = 136.3

Tabel 7. Hasil perhitungan batas arch index kaki kiri subjek 2

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-41.00244	-41.85244
Y akhir	(c2+batas akhir)	22.44756	22.754429

- c. Subjek 3
 Kaki Kanan
 FL = 260 mm
 Batas Awal (31% FL) = 80.6
 Batas Akhir (58% FL) = 150.8

Tabel 8. Hasil perhitungan batas arch index kaki kanan subjek 3

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-39.59879	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	23.85121	23.144241

Y awal	(c2+batas awal)	-25.53324	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	44.66676	44.186029

Kaki Kiri
 FL = 260 mm
 Batas Awal (31% FL) = 80.6
 Batas Akhir (58% FL) = 150.8

Tabel 9. Hasil perhitungan batas arch index kaki kiri subjek 3

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-34.08419	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	36.11581	34.684189

d. Subjek 4
 Kaki Kanan
 FL = 250 mm
 Batas Awal (31% FL) = 77.5
 Batas Akhir (58% FL) = 145

Tabel 10. Hasil perhitungan batas arch index kaki kanan subjek 4

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-27.52139	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	39.97862	27.371025

Kaki Kiri
 FL = 250 mm
 Batas Awal (31% FL) = 77.5
 Batas Akhir (58% FL) = 145

Tabel 11. Hasil perhitungan batas arch index kaki kiri subjek 4

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-26.01306	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	41.48694	26.047536

e. Subjek 5
 Kaki Kanan
 FL = 240 mm
 Batas Awal (31% FL) = 74.4
 Batas Akhir (58% FL) = 139.2

Tabel 12. Hasil perhitungan batas arch index kaki kanan subjek 5

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-32.09624	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	32.70376	32.321484

Kaki Kiri
 FL = 240 mm
 Batas Awal (31% FL) = 74.4
 Batas Akhir (58% FL) = 139.2

Tabel 13. Hasil perhitungan batas arch index kaki kiri subjek 5

Koord. Y batas area arch	Rumus Koord. Y perhitungan	Estimasi Hasil Perhitungan	Riil Paling mendekati di excel
Y awal	(c2+batas awal)	-13.78484	-
Y akhir	(c2+batas akhir)	51.01516	13.761946

Hasil Pengukuran RFA yang menggunakan rumus korelasi AI dan RFA pada BAB II yaitu, RFA = 59.23AI-10.97. dimana hasilnya dapat dilihat ditabel berikut

Tabel 14. Hasil pengukuran sudut belakang kaki subjek 1

	Kanan		Kiri	
	Tanpa Sisipan	15 mm	Tanpa Sisipan	15 mm
AI	0.41	0.28	0.40	0.28
RFA	13.31	5.61	12.72	5.61
RFA Manual	6	3	9	6
AI ₂	0.287	0.236	0.337	0.286

Tabel 15. Hasil pengukuran sudut belakang kaki subjek 2

	Kanan		Kiri	
	Tanpa Sisipan	15 mm	Tanpa Sisipan	15 mm
AI	0.34	0.29	0.31	0.29
RFA	9.17	6.21	7.39	6.21
RFA Manual	5	4	15	11
AI ₂	0.269	0.253	0.438	0.371

Tabel 16. Hasil pengukuran sudut belakang kaki subjek 3

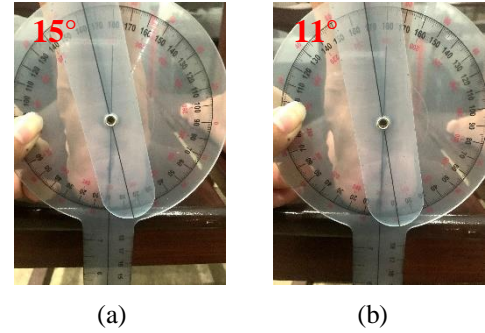
	Kanan		Kiri	
	Tanpa Sisipan	15 mm	Tanpa Sisipan	15 mm
AI	0.37	0.25	0.31	0.27
RFA	10.95	3.84	7.39	5.02
RFA Manual	10	8	10	6
AI ₂	0.354	0.32	0.354	0.287

Tabel 17. Hasil pengukuran sudut belakang kaki subjek 4

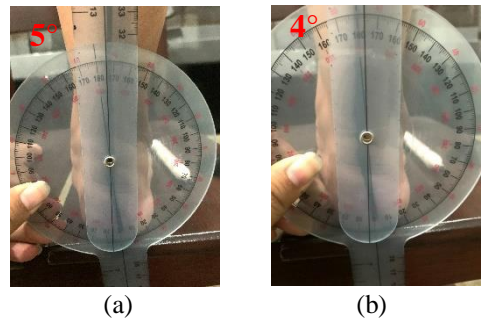
	Kanan		Kiri	
	Tanpa Sisipan	10 mm	Tanpa Sisipan	10 mm
AI	0.27	0.26	0.28	0.25
RFA	5.02	4.43	5.02	4.43
RFA Manual	6	5	12	8
AI ₂	0.2	0.269	0.388	0.32

Tabel 18. Hasil pengukuran sudut belakang kaki subjek 5

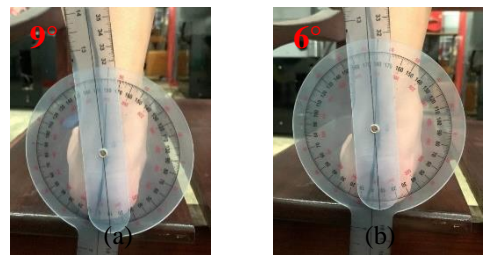
	Kanan		Kiri	
	Tanpa Sisipan	15 mm	Tanpa Sisipan	15mm
AI	0.39	0.30	0.37	0.30
RFA	12.13	6.8	10.95	6.8
RFA Manual	15	12	16	11
AI ₂	0.438	0.388	0.455	0.37



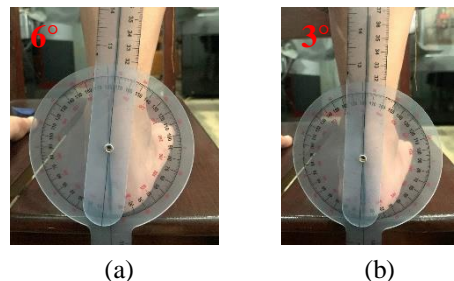
Gambar 8. Evaluasi sudut belakang kaki kiri subjek ke-2 (a) tanpa sisipan 15° (b) dengan sisipan 11°



Gambar 9. Evaluasi sudut belakang kaki kanan subjek ke-2 (a) tanpa sisipan 5° (b) dengan sisipan 4°



Gambar 10. Evaluasi sudut belakang kaki kanan subjek ke-2 (a) tanpa sisipan 5° (b) dengan sisipan 4°



Gambar 11. Evaluasi sudut belakang kaki kanan subjek ke-1 (a) tanpa sisipan 6° (b) dengan sisipan 3°

4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian Tugas Akhir ini :

1. Hasil pengukuran terhadap penderita *flat foot* menunjukkan adanya hubungan antara *arch index* dengan sudut belakang kaki adalah berbanding lurus.
2. Perancangan sisipan pada area medial arch mengacu pada telapak kaki subjek hasil 3D scan.
3. Penggunaan *shoe-insole* sebagai upaya penanganan *flat foot* terbukti efektif dan memberikan kenyamanan kepada pengguna. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan sudut belakang kaki ketika subjek menggunakan kontur penyangga. Rata rata tinggi kontur penyangga 14 mm dapat menurunkan rata – rata AI kaki kanan sebesar 0,08 dan AI kaki kiri sebesar 0.07 serta rata – rata penurunan RFA kaki kanan 2° dan RFA kaki kiri sebesar 4°. Perbedaan antara kaki kanan dan kaki kiri dikarenakan sebagian besar penderita besar derajat *flat foot* antara kaki kanan dan kaki kiri berbeda.

5. Referensi

- [1] P. R. Cavanagh and M. M. Rodgers, “The arch index: A useful measure from footprints,” *J. Biomech.*, vol. 20, no. 5, pp. 547–551, 1987, doi: 10.1016/0021-9290(87)90255-7.
- [2] A. E. Hunt, A. J. Fahey, and R. M. Smith, “Static measures of calcaneal deviation and arch angle as predictors of rearfoot motion during walking,” *Aust. J. Physiother.*, vol. 46, no. 1, pp. 9–16, 2000, doi: 10.1016/S0004-9514(14)60309-3.
- [3] D. B. Wibowo, G. D. Haryadi, A. Widodo, and S. P. Rahayu, “Correlation of Loaded and Unloaded Foot Area With Arch Index in Younger Flatfoot,” *MATEC Web Conf.*, vol. 135, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1051/mateconf/201713500060.
- [4] G. D. Haryadi, D. B. Wibowo, A. Widodo, and A. Suprihanto, “Comparison of ratio loaded and unloaded foot area of flat foot and healthy foot in younger adults,” *MATEC Web Conf.*, vol. 159, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815902019.
- [5] A. Atik and S. Ozyurek, “Flexible flatfootness,” *North. Clin. Istanbul*, vol. 1, no. 1, pp. 57–63, 2014, doi: 10.14744/nci.2014.29292.
- [6] S. Dars, H. Uden, H. A. Banwell, and S. Kumar, “The effectiveness of non-surgical intervention (Foot Orthoses) for paediatric flexible pes planus: A systematic review: Update,” *PLoS One*, vol. 13, no. 2, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0193060.
- [7] L. Yung-Hui and H. Wei-Hsien, “Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking,” *Appl. Ergon.*, vol. 36, no. 3, pp. 355–362, 2005, doi: 10.1016/j.apergo.2004.11.001.
- [8] U. B. Rao and B. Joseph, “The influence of footwear on the prevalence of flat foot. A survey of 2300 children,” *J. Bone Jt. Surg. - Ser. B*, vol. 74, no. 4, pp. 525–527, 1992, doi: 10.1302/0301-620x.74b4.1624509.
- [9] T.-Y. Shiang, S.-H. Lee, L. Shwn-Jen, and W. C. Chu, “Evaluating different footprint parameters as a predictor of arch height,” *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 17, no. 6, pp. 62–66, 1998, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ft.2017.01.002>[http://www.revistapodologia.com/jdownloads/Revista Digital Gratuita Espanol/revistapodologia.com_069es.pdf](http://www.revistapodologia.com/jdownloads/Revista%20Digital%20Gratuita%20Espaol/revistapodologia.com_069es.pdf)[http://dx.doi.org/10.1016/S0211-5638\(07\)74417-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0211-5638(07)74417-6).
- [10] E. Sobel, S. Levitz, M. Caselli, Z. Brentnall, and M. Q. Tran, “Natural history of the rearfoot angle: Preliminary values in 150 children,” *Foot Ankle Int.*, vol. 20, no. 2, pp. 119–125, 1999, doi: 10.1177/107110079902000209.