

RANCANG BANGUN SOL SEPATU UNTUK PENDERITA *FLEXIBLE FLATFOOT*

*Dwi Basuki Wibowo¹, Budi Setiyana¹, Abdul Hadi²

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: abdulhadiuul@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 dan menimbulkan benjolan pada pangkal luar jempol kaki. Penelitian tugas akhir ini mengevaluasi flexible flat foot hasil pemindaian 2D dan pemindaian 3D. Anatomi telapak kaki subjek hasil pemindaian 3D menjadi acuan dalam proses perancangan kontur penyangga pada area medial untuk mengurangi derajat flat foot. Proses perancangan menggunakan software Rhinoceros 6 dan proses manufaktur dengan cara cetak 3D. Hasil perancangan didistribusikan pada dua subjek untuk dilakukan evaluasi dampak penggunaan kontur penyangga. Berdasarkan hasil evaluasi penggunaan kontur penyangga (shoe-insole), pemakaian kontur penyangga terbukti efektif dalam mengurangi derajat flat foot.

Kata kunci: *arch index; flatfoot; flexible flatfoot; shoe in-shole*

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 and cause a lump on the outer base of the big toe (bunion). In this research, this final project evaluated the flexible flat foot from 2D and the 3D scanned. The subject's anatomy of the soles from the 3D scan as reference in the process of designing the contours of the buffer in the medial area to reduce the degree of flat foot (eversion angle). The design process uses Rhinoceros 6 software and the manufacturing process by 3D printing. The design results were distributed to two 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.

Keywords: *arch index; flatfoot; flexible flatfoot; shoe in-shole*

1. Pendahuluan

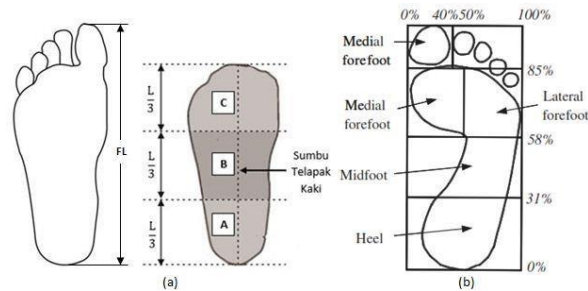
Kaki rata (*flat foot*) sering terjadi pada anak-anak dan terkadang juga pada remaja. *Flat foot* adalah suatu kondisi lengkungan di *medial arch* terlalu kecil sehingga ketika berdiri sebagian besar telapak kaki di daerah *arch* menyentuh landasan. Seseorang dengan telapak kaki *flat foot* [1] biasanya 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 2.1a [1] dan *Lee Yung-Hui* Gambar 2.1b [7].

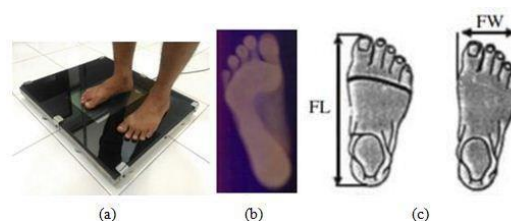


Gambar 2. 1 Pembagian area telapak kaki menurut (a) Cavanagh dan (b) Lee Yung-Hui.

Area Arch telapak kaki manusia dibagi menjadi tiga bagian yaitu anterior transverse arch, lateral longitudinal arch, dan medial longitudinal arch. Pada paneliatan ini yang dimaksudkan adalah lmedial longitudinal arch.

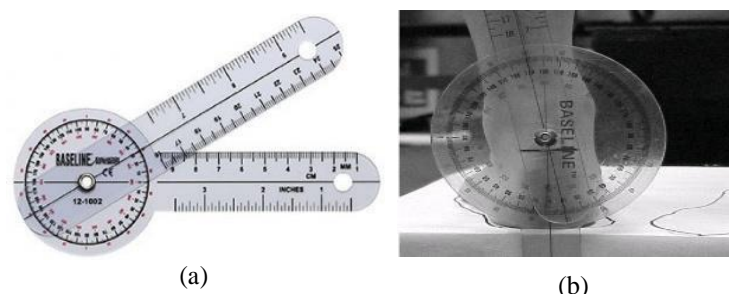
Tipe telapak kaki diketahui dari hasil *footprint*, baik menggunakan *wet foot test* maupun pemindaian secara digital. Identifikasi tipe telapak kaki dari pemindaian jejak telapak kaki (*footprint scanning*) [4] bisa dilakukan menggunakan *Cavanagh Arch Index* (AI) [1] *Rao & Joseph* [8], *Clark Angle* 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 2.1a): $AI = \frac{\text{Area B}}{\text{Area (A+B+C)}}$ [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 2.3 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. 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 (Gambar 2.4), 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.

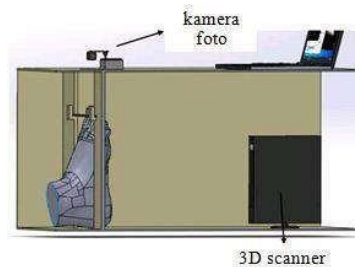


Gambar 2. 3 (a) Goniometer (b) Mengukur sudut belakang kaki dengan goniometri

Subyek yang terindikasi flatfoot saat menggunakan sepatu orthotic tidak dapat dikatehui/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 (2.1). Dimana untuk $AI \geq 0,26$ diperoleh $RFA \geq 4,3^\circ$

$$RFA = 59,23AI - 10,97 \quad (2.1)$$

Pemindaian 2D telapak kaki berbeban menggunakan alat *digital footprint scanning*, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3, untuk mengetahui derajat *flat foot* pasien dari nilai AI-nya (lihat Tabel 3.1) [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 2.5 (ScanPod3D, 2013).



Gambar 2. 4 Pemindaian telapak kaki tak berbeban menggunakan 3D scanner

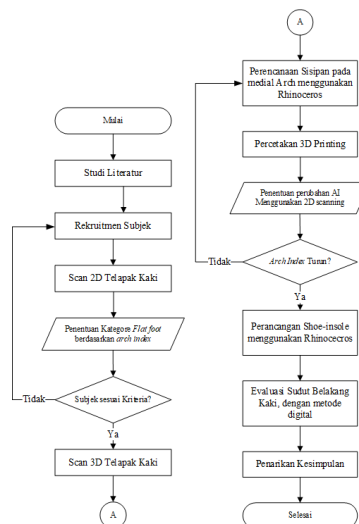
Setelah memperoleh hasil 3D scan, kemudian yaitu melakukan validasi hasil 3D scan yang telah di-generate menjadi koordinat XYZ untuk dilakukan *curve fitting* pada *software* matlab. *Curve fitting* dilakukan dengan *plotting* koordinat tersebut menjadi persamaan polynomial orde 5 dan dihasilkan nilai 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 2.6.



Gambar 2. 5 Sol sepatu orthotic tidak bisa diproduksi massal.

Diagram alir penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 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 3.1

Tabel 3. 1 Hasil Evaluasi AI2D dan AI3D

No	Jenis Kelamin	Umur (thn)	Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	BMI (kg/m ²)	AI _{2D}		AI _{3D}	
						Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
1	L	21	62	170	21	0.39	0.41	0.26	0.30
2	P	22	77	170	26	0.37	0.36	0.27	0.29
3	L	23	58	167	20	0.28	0.38	0.20	0.21
4	L	21	60	167	21	0.37	0.39	0.26	0.24
5	L	22	76	166	27	0.34	0.31	0.26	0.27
6	L	22	59	163	22	0.30	0.30	0.27	0.27
7	L	22	58	168	20	0.33	0.31	0.22	0.27
8	L	22	59	163	22	0.35	0.32	0.28	0.25
9	L	22	57	162	21	0.31	0.32	0.27	0.25
10	P	22	54	158	21	0.30	0.31	0.30	0.27
11	L	22	105	171	35	0.35	0.31	0.27	0.30
12	L	23	56	164	20	0.29	0.25	0.26	0.25
13	L	22	59	163	22	0.28	0.29	0.22	0.21
14	L	21	63	160	24	0.34	0.33	0.25	0.21
15	L	22	56	162	21	0.30	0.31	0.29	0.27
16	L	22	69	182	20	0.31	0.30	0.29	0.23
17	P	20	46	155	19	0.29	0.27	0.26	0.22
18	L	22	50	163	19	0.27	0.25	0.25	0.20
19	P	21	46	155	19	0.30	0.36	0.30	0.27
20	L	21	55	162	20	0.39	0.38	0.27	0.29
21	P	20	48	159	19	0.31	0.30	0.24	0.27
22	L	22	55	162	20	0.29	0.27	0.25	0.25
23	L	22	84	176	27	0.30	0.34	0.29	0.27
24	L	22	63	160	24	0.34	0.32	0.24	0.26
25	L	22	65	168	23	0.28	0.28	0.23	0.25
26	L	23	61	170	21	0.30	0.32	0.29	0.28
27	L	23	67	165	24	0.35	0.33	0.23	0.25
28	L	21	78	172	26	0.27	0.26	0.24	0.25
29	P	21	51	158	20	0.24	0.29	0.23	0.27
30	L	23	65	168	23	0.28	0.33	0.22	0.24
31	L	21	67	165	24	0.32	0.32	0.27	0.29
32	L	21	54	164	20	0.29	0.28	0.24	0.25
33	L	22	54	164	20	0.28	0.29	0.23	0.23

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 ($18.5 < BMI < 24.9$) dan kegemukan apabila ($BMI > 25.0 \text{ kg/m}^2$).

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 3.2 dan Tabel 3.3 di bawah.

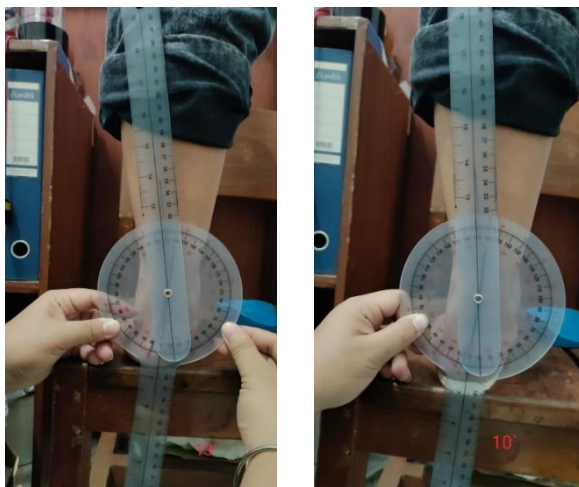
Proses perancangan kontur penyangga pada *area medial* dibuat dengan perangkat lunak Rhinoceros 3D yang memanfaatkan kontur pada 3D scan. Setelah menghubungkan parameter dalam perancangan, maka desain kontur sisipan pada *area medial* dapat dilihat pada Gambar 4.1. Setelah desain kontur sisipan dirancang, maka langkah selanjutnya adalah tahap pencetakan 3D. Hasil akhir kontur sisipan setelah dicetak 3D dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Hasil shoe insole sebagai upaya penanganan flexible flat foot.

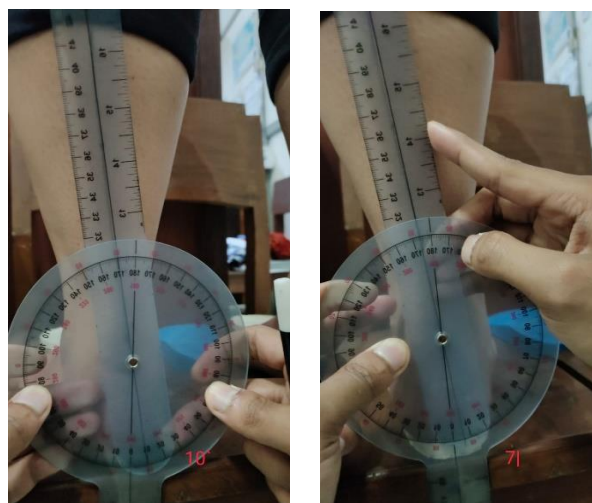
Hasil perhitungan dan pembagian sudut belakang kaki

a. Subjek 1



Gambar 3.2 Evaluasi sudut belakang kaki kanan subjek ke-1 tanpa Sol Penyangga 13° dan dengan sol penyangga 9°

b. Subjek 2



Gambar 3.3 Evaluasi sudut belakang kaki kiri subjek ke-2 tanpa sol penyangga 10° dan dengan sol penyangga 7°

4. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian Tugas Akhir ini :

1. Hasil pengukuran terhadap flexible flat foot menunjukkan adanya korelasi antara arch index dengan sudut belakang kaki adalah berbanding lurus. Semakin besar angka arch index pada telapak kaki seseorang maka semakin besar pula sudut belakang kaki orang tersebut.
2. Perancangan kontur penyangga pada area medial mengacu pada telapak kaki subjek hasil pemindaian 3D. Pembuatan kontur penyangga dibuat dengan cara dicetak 3D dan dibuat sebanyak dua pasang. Penggunaan kontur penyangga (shoe-insole) sebagai upaya penanganan flexible flat foot terbukti efektif. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan sudut belakang kaki ketika subjek menggunakan kontur penyangga.

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.