

PERBANDINGAN ANTARA METODE *CAVANAGH ARCH INDEX*, *STAHELI INDEX*, DAN *REARFOOT ANGLE* UNTUK MENGIDENTIFIKASI FLATFOOT PADA SUBYEK MAHASISWA UNDIP

*Dimas Tri Saputra¹, Dwi Basuki Wibowo², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: dimastrisaputra03@gmail.com

Abstrak

Flatfoot merupakan kondisi biomekanik pada kaki yang ditandai dengan penurunan lengkungan medial longitudinal. Identifikasi flatfoot sangat penting untuk mencegah gangguan postur dan cedera muskuloskeletal. Penelitian ini membandingkan tiga metode identifikasi tipe telapak kaki: Cavanagh Arch Index (AI), Staheli Index (SI), dan Rearfoot Angle (EA). Sebanyak 40 mahasiswa Universitas Diponegoro menjadi subjek penelitian. Data diperoleh melalui pemindaian telapak kaki menggunakan scanner digital dan pengukuran sudut rearfoot dengan goniometer. Hasil menunjukkan bahwa metode Cavanagh Arch Index paling banyak mengidentifikasi flatfoot (92,5%), namun minim mendeteksi tipe kaki lainnya. Staheli Index lebih seimbang dalam mengklasifikasi tiga tipe kaki (flat, normal, high arch), sedangkan Rearfoot Angle memiliki variabilitas tertinggi. Analisis koefisien variasi mengindikasikan bahwa metode Cavanagh memiliki presisi paling konsisten. Dapat disimpulkan bahwa Staheli Index lebih proporsional untuk skrining populasi, sementara Cavanagh AI cocok untuk deteksi awal flatfoot secara cepat.

Kata kunci: *cavanagh arch index*; flatfoot; identifikasi telapak kaki; *rearfoot angle*; *staheli index*

Abstract

Flatfoot is a biomechanical condition in the foot that is characterized by a decrease in the longitudinal medial arch. Flatfoot identification is essential to prevent postural disorders and musculoskeletal injuries. This study compared three methods of identifying the type of foot: Cavanagh Arch Index (AI), Staheli Index (SI), and Rearfoot Angle (EA). A total of 40 Diponegoro University students were the subjects of the research. Data was obtained through scanning of the soles of the feet using a digital scanner and measuring the angle of the rearfoot with a goniometer. The results showed that the Cavanagh Arch Index method identified the most flatfoot (92.5%), but minimally detected other foot types. The Staheli Index is more balanced in classifying three types of feet (flat, normal, high arch), while the Rearfoot Angle has the highest variability. Analysis of the coefficient of variation indicates that Cavanagh's method has the most consistent precision. It can be concluded that the Staheli Index is more proportionate for population screening, while Cavanagh AI is suitable for rapid early detection of flatfoot.

Keywords: *cavanagh arch index*; flatfoot; *rearfoot angle*; sole identification; *staheli index*

1. Pendahuluan

Telapak kaki memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas dan pergerakan tubuh. Flatfoot merupakan kondisi umum di mana lengkungan medial kaki turun, menyebabkan beban tubuh tidak tersebar merata. Identifikasi dini flatfoot penting karena dapat mencegah gangguan postur, kelelahan otot, dan nyeri sendi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan keakuratan tiga metode pengukuran kaki, yaitu Cavanagh Arch Index, Staheli Index, dan Rearfoot Angle, dalam mengidentifikasi tipe telapak kaki mahasiswa.

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

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis kaki *flat foot* melalui pendekatan kuantitatif dengan menggunakan beberapa metode pengukuran yang telah diakui dalam bidang biomekanika. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Cavanagh Arch Index*, *Staheli Arch Index*, serta pengukuran sudut belakang kaki (*rear foot angle*). Ketiga metode ini dipilih karena kemampuannya dalam memberikan gambaran objektif mengenai karakteristik lengkung kaki, sehingga dapat mendukung proses identifikasi tipe kaki *flat foot* secara lebih akurat.

2. Dasar Teori

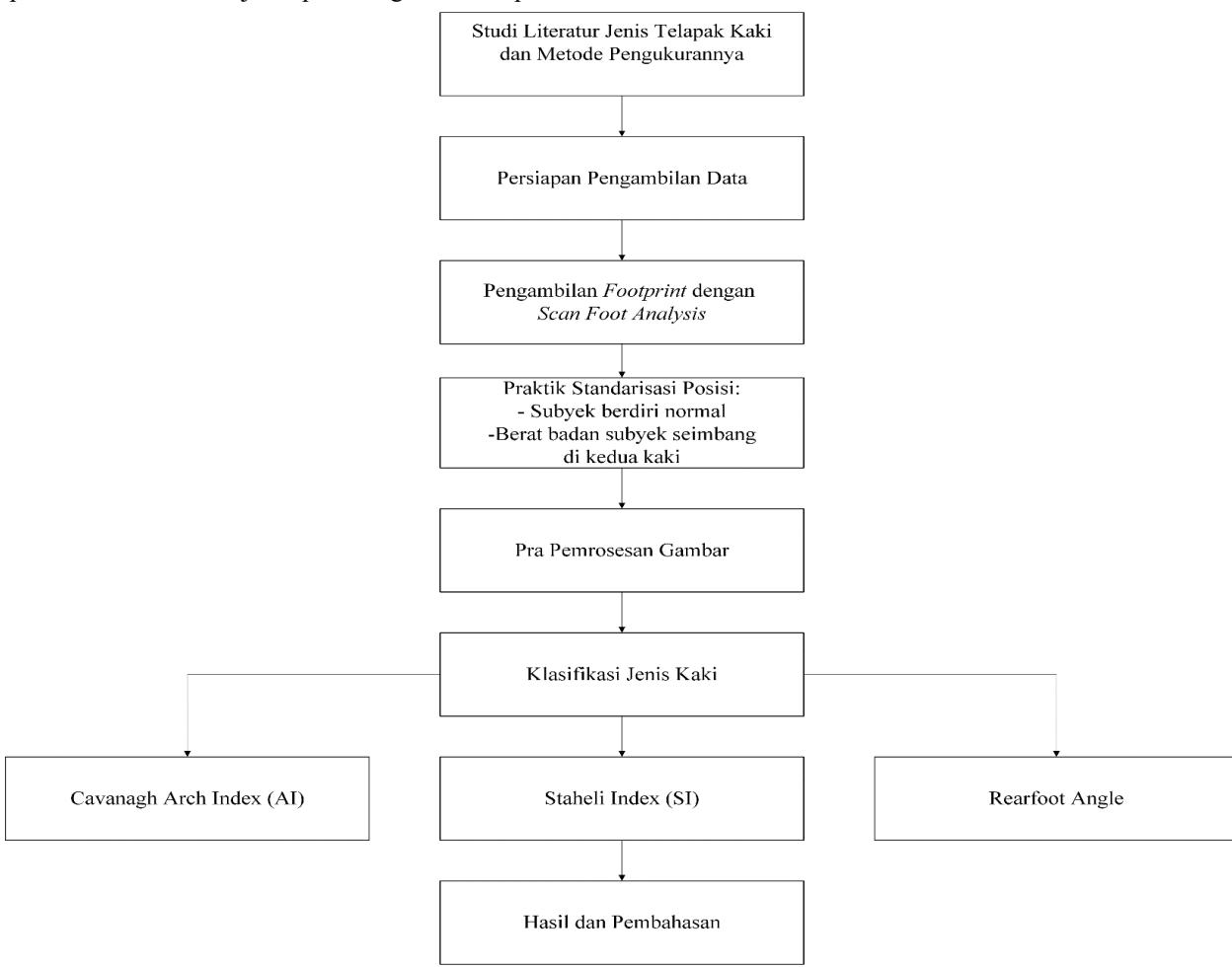
Telapak kaki merupakan titik pusat yang langsung bersentuhan dengan tanah dan menjadi penopang tubuh kita. Telapak kaki memiliki lebih banyak urat saraf dibandingkan dengan bagian wajah. Ada ribuan urat saraf dan sensor di telapak kaki, sehingga kita bisa merasakan bahkan butiran pasir kecil sekali pun, terutama jika masuk ke dalam sepatu yang kita pakai. Telapak kaki dan pergelangan kaki manusia merupakan struktur yang kompleks, terdiri dari banyak tulang, sendi, otot, dan ligamen. Totalnya, ada 26 tulang, 33 sendi (20 di antaranya aktif digunakan), dan lebih dari seratus otot, tendon, dan ligamen yang berperan dalam menjaga stabilitas dan mobilitas kaki kita. Struktur yang kompleks tersebut saling terintegrasi satu sama lain dan memiliki tugas penting untuk membantu menopang lengkungan kaki dan memulai gerakan.

Ukuran dan bentuk telapak kaki setiap manusia berbeda – beda, semua itu tergantung dari jenis kelamin, usia, tinggi badan, berat badan, dan aktivitas yang dilakukan sehari-hari. Secara umum telapak kaki manusia dibagi menjadi 3 bagian yaitu telapak kaki belakang (*rear foot*), telapak kaki tengah (*mid foot*), dan telapak kaki depan (*fore foot*) atau secara lebih spesifik adalah daerah *calcaneal/heel, arch*, dan *metatarsal* (termasuk jari-jari kaki).

3. Bahan dan Metode Penelitian

Diagram alir dibawah ini menggambarkan alur proses kerja atau tahap-tahap penggerjaan pada penelitian ini, yang bertujuan untuk menganalisis jenis telapak kaki menggunakan metode *Cavanagh Arch Index*, *Staheli Index*, dan *Rearfoot Angle* berbasis gambar jejak kaki (*footprint*) yang diperoleh melalui pemindaian (*scan*). Hasil dari ketiga metode tersebut dibandingkan dan dianalisis dalam tahap hasil dan pembahasan. Pada bagian ini, peneliti menginterpretasikan hasil klasifikasi, baik secara individu maupun komparatif antar-metode, dan mendiskusikan kesesuaian hasil tersebut terhadap literatur atau karakteristik subjek. Tahapan ini juga bisa digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai tingkat akurasi masing-masing metode atau relevansinya terhadap konteks populasi yang diteliti. Penelitian ini dilakukan pada lingkungan Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang dilakukan mulai dari bulan Februari 2025, yaitu dengan dimulai dari studi literatur hingga pengolahan oleh software *Scan Foot Analysis*.

Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa proses yang dilewati. Proses-proses yang dilakukan pada penelitian kali ini disajikan pada diagram alir seperti Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Bahan

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian analisis jenis kaki adalah:

- Subjek Penelitian (Responden)
- Tisu Basah

3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian analisis jenis kaki adalah:

- 2D Foot Scanner
- Software Scanfoot Analysis
- Laptop
- Kain Hitam
- Penggaris Goniometer
- Spidol
- BMI

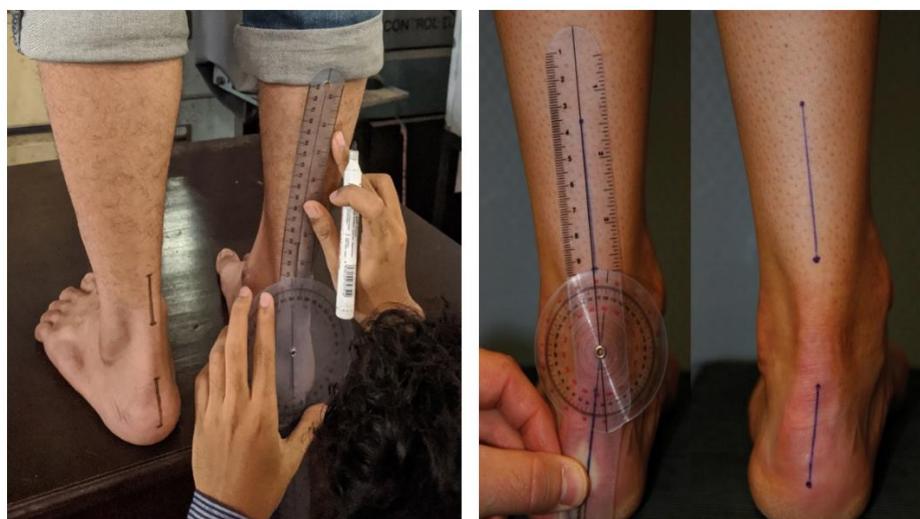
3.3 Proses

Pemindaian 2D telapak kaki (disebut juga pemindaian telapak kaki berbeban) ditujukan untuk memperoleh bentuk telapak kaki yang berkонтак dengan landasan (*platform*). Alatnya disebut *footprint scanner* atau *2D foot scanner*.



Gambar 2. Proses Pemindaian 2D telapak kaki: hasil scan telapak kaki, alat footprint scanner, parameter FL dan FW untuk menentukan ukuran sepatu

Hasil pemindaian *footprint* ini digunakan untuk berbagai keperluan, yaitu: (1) menentukan ukuran sepatu dari data panjang dan lebar telapak kaki (FL: *foot length*, FW: *foot width*), (2) menentukan type telapak kaki *high arch*, normal foot atau *flat foot* (nilai AI), dan (3) menentukan luas area telapak kaki yang berkontak dengan landasan (FAC: *foot area contact*).



Gambar 3. Proses Pengukuran Rearfoot Angle

Selain identifikasi type telapak kaki berbasis *footprint* terdapat juga metode identifikasi lain yaitu dari hasil pengukuran sudut belakang kaki (lazim juga disebut *eversion angle*, EA).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Distribusi BMI Subyek

Penelitian ini melibatkan 40 subjek mahasiswa Universitas Diponegoro, terdiri dari 30 laki-laki dan 10 perempuan. Masing-masing subjek telah diukur indeks massa tubuh (BMI) serta dilakukan pemindaian jejak kaki kiri dan kanan menggunakan scanner digital. Hasil citra kemudian dianalisis dengan perangkat lunak Scan Foot Analysis untuk mengidentifikasi jenis telapak kaki berdasarkan tiga metode: *Cavanagh Arch Index*, *Staheli Index*, dan *Rearfoot Angle*.

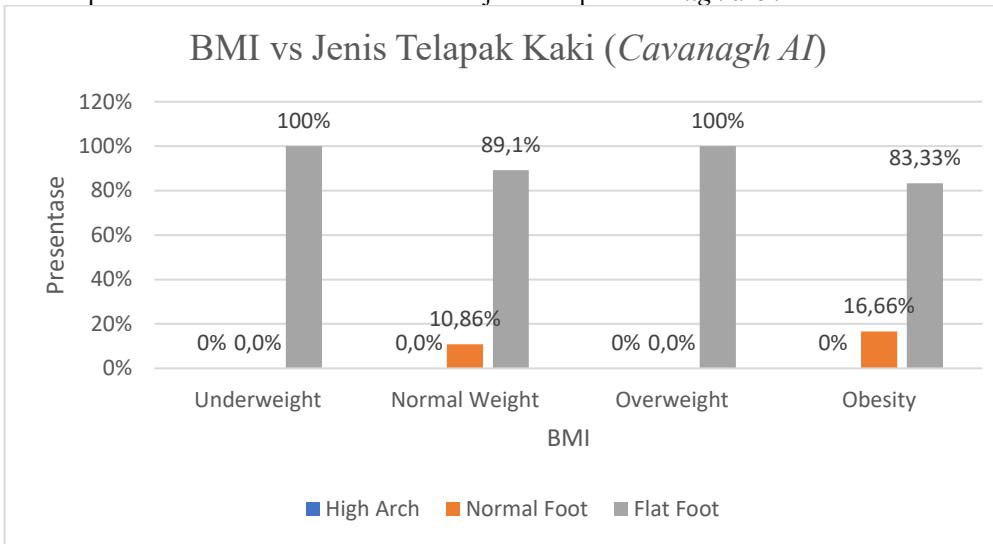
Tabel 1. Distribusi BMI Subyek

Kategori BMI	Jumlah Partisipan	Percentase (%)
Underweight	3	7.5
Normalweight	23	57.5
Overweight	8	20.0
Obesity	6	15.0
Total	40	100.0

Distribusi kategori BMI subyek adalah sebagai berikut: 3 partisipan (7.5%) diklasifikasikan sebagai berat badan kurang, 23 partisipan (57.5%) sebagai berat badan normal, 8 partisipan (20.0%) sebagai kelebihan berat badan, dan 6 partisipan (15.0%) sebagai obesitas. Secara signifikan, 35% dari populasi studi termasuk dalam kategori kelebihan berat badan atau obesitas, menyoroti proporsi yang signifikan dengan IMT yang tinggi.

4.2 Hasil Hubungan Antara Kategori BMI dengan Tipe Telapak Kaki *Cavanagh AI*

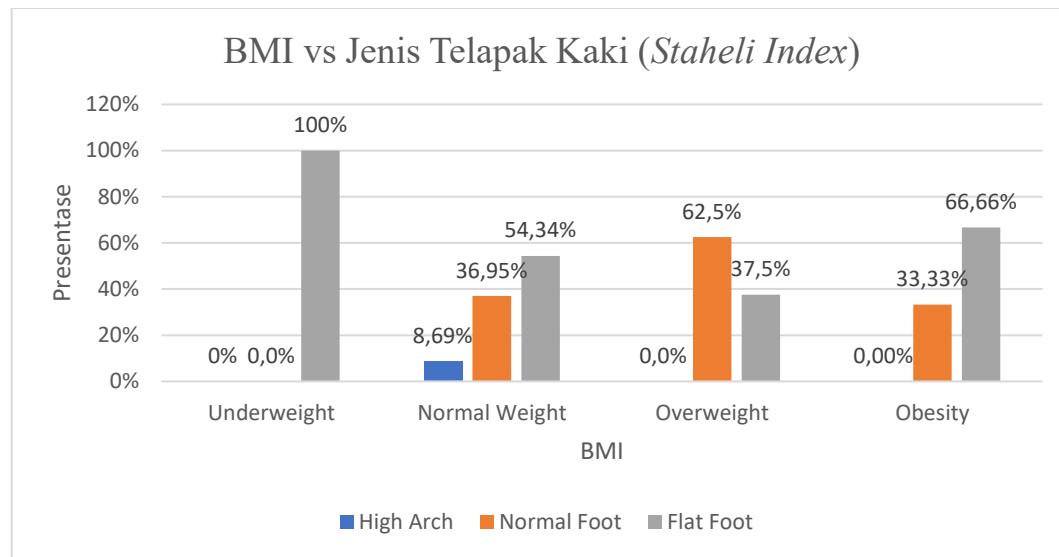
Secara keseluruhan, Metode *Cavanagh Arch Index* menunjukkan prevalensi jenis telapak kaki *flat foot* yang sangat tinggi di semua kategori BMI, mencapai 100% pada kelompok berat badan *underweight* dan *overweight*. Metode ini tampaknya cenderung mengklasifikasikan sebagian besar kaki sebagai jenis telapak *flat foot*, dengan sangat sedikit identifikasi jenis telapak kaki normal dan tidak ada untuk jenis telapak kaki *high arch*.



Gambar 4. Grafik BMI vs Jenis Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Cavanagh Arch Index*

4.3 Hasil Hubungan Antara Kategori BMI dengan Tipe Telapak Kaki *Staheli Index*

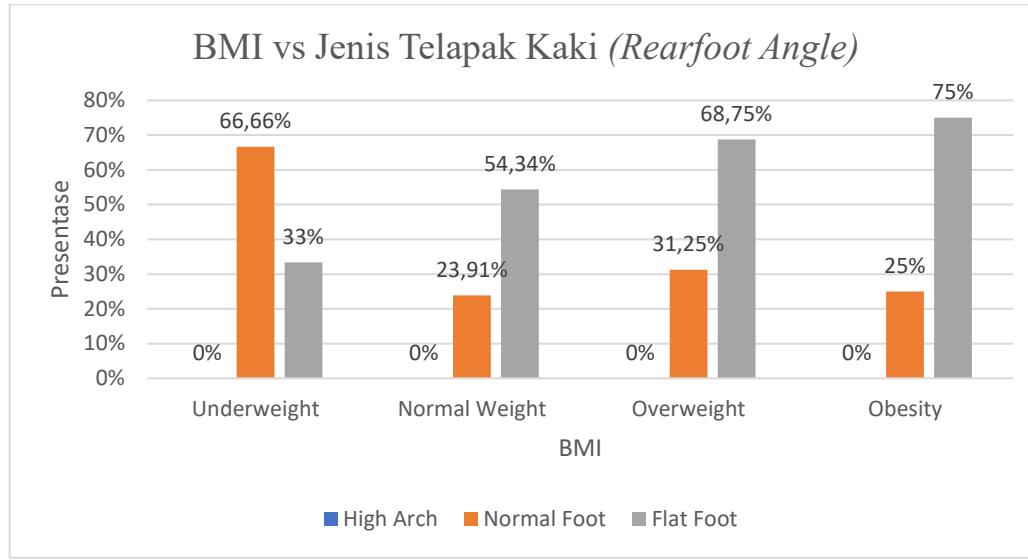
Secara keseluruhan, Metode *Staheli Index* juga menunjukkan prevalensi jenis telapak kaki flatfoot yang tinggi di semua kategori BMI, dengan tren peningkatan seiring dengan peningkatan BMI. Namun, metode ini mengidentifikasi proporsi telapak kaki normal yang lebih besar dibandingkan Metode *Cavanagh AI*, dan juga mengidentifikasi sejumlah kecil jenis telapak kaki *high arch* pada kategori berat badan *normal weight*.



Gambar 5. Grafik BMI vs Jenis Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Staheli Index*

4.4 Hasil Hubungan Antara Kategori BMI dengan Tipe Telapak Kaki *Rearfoot Angle*

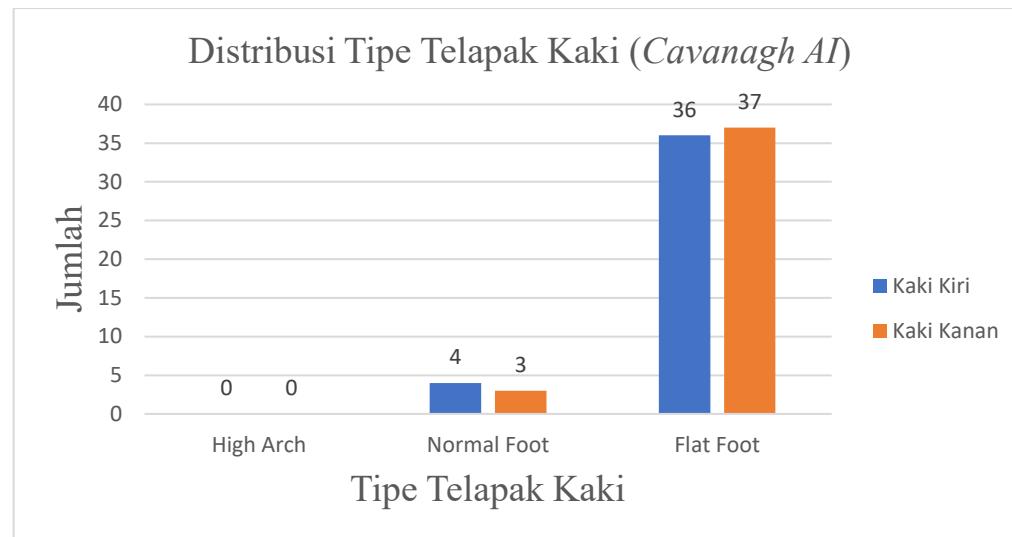
Secara keseluruhan, Metode *Rearfoot Angle* juga menunjukkan prevalensi jenis telapak kaki flatfoot yang tinggi di semua kategori BMI, dengan tren peningkatan seiring dengan peningkatan BMI. Namun, metode ini mengidentifikasi proporsi telapak kaki normal yang lebih besar dibandingkan Metode *Cavanagh AI*, dan tidak ada untuk jenis telapak kaki *high arch*.



Gambar 6. Grafik BMI vs Jenis Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Rearfoot Angle*

4.5 Distribusi Tipe Telapak Kaki berdasarkan Metode *Cavanagh Arch Index*

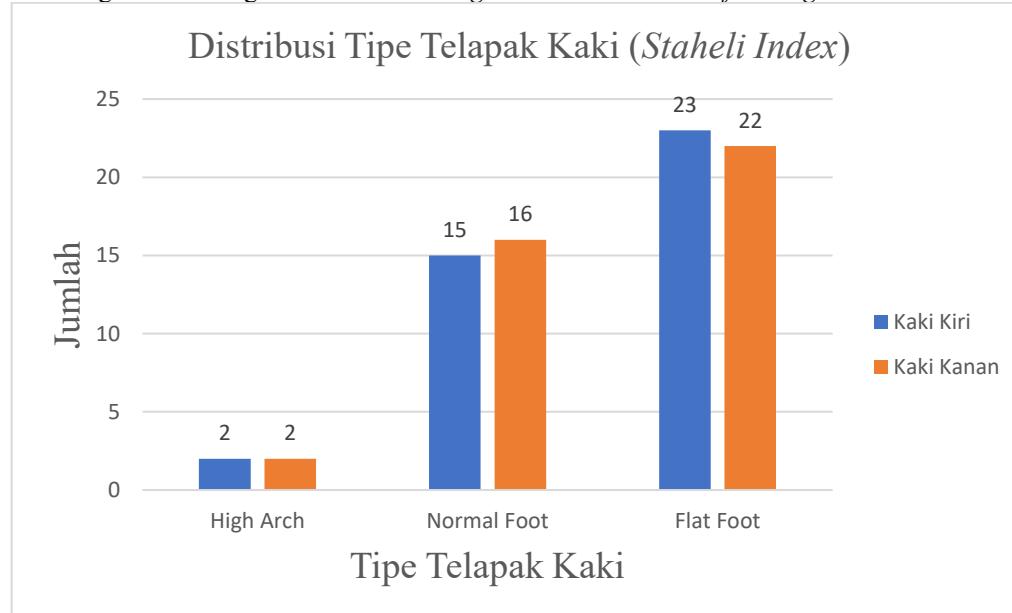
Sebanyak 36 individu pada kaki kiri dan 37 individu pada kaki kanan diklasifikasikan memiliki lengkung kaki datar. Sementara itu, hanya terdapat 4 individu pada kaki kiri dan 3 individu pada kaki kanan diklasifikasikan tipe *normal foot* pada masing-masing kaki kiri dan kanan, dan tidak ditemukan satu pun individu dengan tipe telapak kaki *high arch* di kedua sisi. Hal ini menunjukkan bahwa dominasi *flat foot* sangat mencolok dalam populasi yang diteliti, dengan distribusi yang simetris antara kaki kiri dan kanan.



Gambar 7. Grafik Distribusi Tipe Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Cavanagh Arch Index*

4.6 Distribusi Tipe Telapak Kaki berdasarkan Metode *Staheli Index*

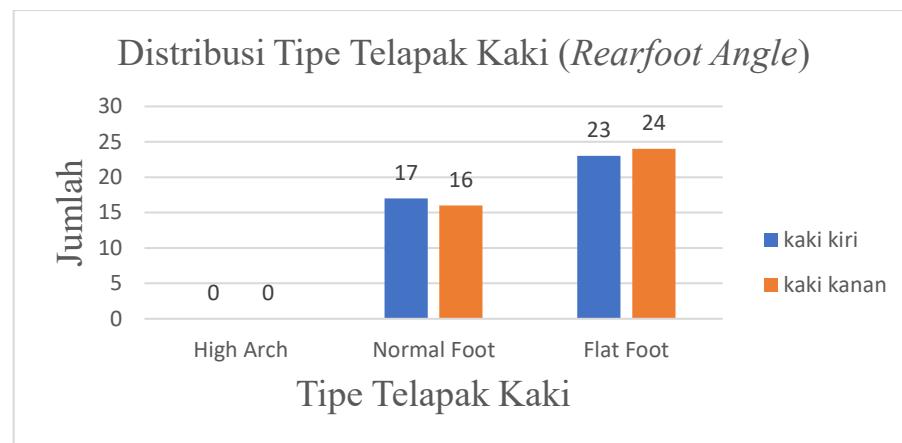
Sejumlah kecil partisipan (2 untuk kaki kiri dan 2 untuk kaki kanan) diklasifikasikan memiliki telapak kaki *high arch*. Sementara itu, terdapat 15 individu pada kaki kiri dan 16 individu pada kaki kanan diklasifikasikan tipe *normal foot* pada masing-masing kaki kiri dan kanan, sebanyak 23 individu pada kaki kiri dan 22 individu pada kaki kanan diklasifikasikan memiliki tipe telapak kaki datar. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Staheli Arch Index* memberikan hasil yang lebih beragam dibandingkan metode *Cavanagh Arch Index* dan *Rearfoot Angle*.



Gambar 8. Grafik Distribusi Tipe Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Staheli Index*

4.7 Distribusi Tipe Telapak Kaki berdasarkan Metode *Rearfoot Angle*

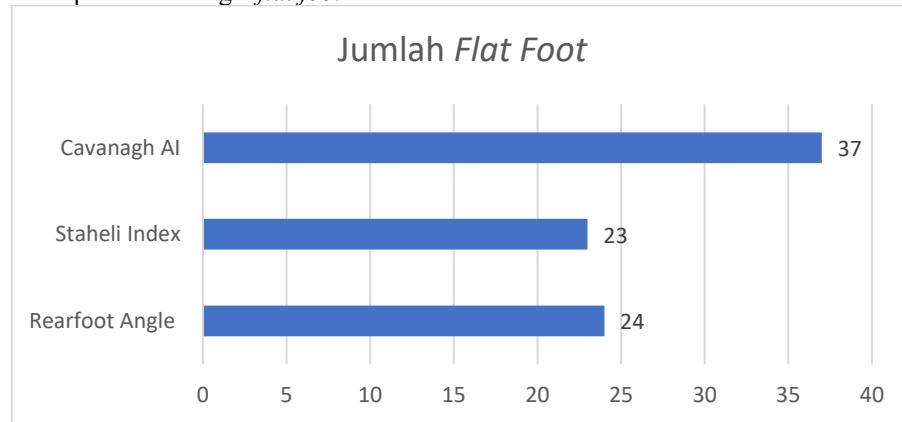
Pada kaki kiri, sebanyak 23 dan pada kaki kanan, sebanyak 24 individu dikategorikan *flat foot*, Sementara itu, terdapat 17 individu pada kaki kiri dan 16 individu pada kaki kanan diklasifikasikan tipe *normal foot* pada masing-masing kaki kiri dan kanan, dan tidak ditemukan satu pun individu dengan tipe lengkung kaki *high arch* di kedua sisi.



Gambar 9. Grafik Distribusi Tipe Telapak Kaki Berdasarkan Metode *Rearfoot Angle*

4.8 Perbedaan Hasil Identifikasi *Flat Foot* Berdasarkan Tiga Metode

Berdasarkan Gambar 10 di bawah menunjukkan jumlah total identifikasi jenis telapak kaki *flat foot* dari ketiga metode. *Cavanagh Arch Index* mengidentifikasi 37 telapak kaki *flat foot*. *Staheli Index* mengidentifikasi 23 telapak kaki *flatfoot*. *Rearfoot Angle* mengidentifikasi 24 telapak kaki *flat foot*. Terlihat jelas bahwa Metode *Cavanagh Arch Index* mengidentifikasi jumlah telapak kaki *flat foot* tertinggi, diikuti oleh *Rearfoot Angle*, dan kemudian *Staheli Index*. Perbedaan ini menunjukkan bahwa setiap metode memiliki kriteria dan sensitivitas yang berbeda dalam mengklasifikasikan telapak kaki sebagai *flat foot*.



Gambar 10. Grafik Jumlah Flat Foot Berdasarkan Tiga Metode

Untuk menentukan metode mana yang lebih dapat dipercaya, Koefisien Variasi (CV) dapat digunakan sebagai ukuran variabilitas relatif data terhadap rata-ratanya, di mana CV yang lebih rendah menunjukkan konsistensi dan presisi pengukuran yang lebih besar, sehingga mengindikasikan keandalan yang lebih tinggi. Tabel CV dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah.

Table 2. Tabel CV Setiap Metode

Metode Identifikasi	Mean	SD	CV(%)
<i>Cavanagh Arch Index</i>	0,32	0,04	11,60%
<i>Staheli Index</i>	0,82	0,15	18,21%
<i>Rearfoot Angle</i>	5,2	2,79	53,65%

Berdasarkan Tabel 2. di atas, nilai CV untuk *Cavanagh Arch Index* adalah 11,60%, untuk *Staheli Index* adalah 18,21%, dan untuk *Rearfoot Angle* adalah 53,65%. Mengacu pada kriteria umum interpretasi CV dalam penelitian keandalan, nilai kurang dari 11% menunjukkan stabilitas tinggi, antara 11% dan 20% menunjukkan stabilitas sedang, dan nilai di atas 20% menunjukkan stabilitas buruk. Dengan demikian, Metode *Rearfoot Angle* memiliki CV tertinggi (53,65%), menunjukkan stabilitas terburuk. *Staheli Index* (18,21%) termasuk dalam kategori stabilitas sedang. Metode *Cavanagh Arch Index* memiliki nilai CV (11,60%) menunjukkan stabilitas sedang, dengan nilai ini Metode *Cavanagh Arch Index* adalah yang terendah di antara ketiga metode. Oleh karena itu, berdasarkan Koefisien Variasi yang diberikan,

Metode *Cavanagh Arch Index* adalah metode yang paling dapat dipercaya atau paling konsisten di antara ketiganya, meskipun penting untuk dicatat bahwa secara keseluruhan, semua metode dalam penelitian ini menunjukkan tingkat variabilitas yang relatif tinggi, menyiratkan adanya ruang untuk peningkatan keandalan dalam pengukuran lengkungan kaki pada penelitian ini.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan antara metode *Cavanagh Arch Index* (AI), *Staheli Arch Index* (SI), dan *Rearfoot Angle* (EA) untuk mengidentifikasi flatfoot pada subyek mahasiswa Universitas Diponegoro, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat hubungan antara kategori Indeks Massa Tubuh (BMI) dengan tipe telapak kaki pada subjek mahasiswa Universitas Diponegoro. Secara umum, seiring dengan peningkatan kategori BMI dari underweight hingga obesity, ditemukan peningkatan prevalensi tipe telapak kaki flatfoot. Namun, perlu dicatat bahwa pada kategori underweight dan normal weight, kasus flatfoot masih ditemukan secara signifikan, yang mengindikasikan bahwa faktor lain seperti kekuatan otot dan jaringan penyangga kaki, aktivitas fisik, dan penggunaan alas kaki yang tidak sesuai juga turut memengaruhi jenis telapak kaki.
2. Distribusi Distribusi tipe telapak kaki menunjukkan simetri yang sangat kuat antara kaki kiri dan kaki kanan pada ketiga metode yang digunakan (*Cavanagh Arch Index* (AI), *Staheli Arch Index* (SI), dan *Rearfoot Angle* (EA)). Ketiga metode secara konsisten mengidentifikasi flatfoot sebagai tipe lengkungan yang paling dominan dalam populasi studi ini.
3. Terdapat perbedaan dalam hasil identifikasi *flat foot* di antara ketiga metode yang digunakan. Metode *Cavanagh Arch Index* (AI) mengidentifikasi jumlah flatfoot tertinggi (37 dari 40 kaki untuk setiap sisi). Metode ini cenderung memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi kasus *flat foot*. Metode *Rearfoot Angle* (EA) mengidentifikasi 24 *flat foot* dari 40 kaki. Metode ini mengidentifikasi proporsi normal foot yang lebih besar dibandingkan *Cavanagh Arch Index* (AI). *Staheli Arch Index* (SI) mengidentifikasi 23 flatfoot dari 40 kaki. *Staheli Arch Index* (SI) diketahui metode ini memiliki sensitivitas yang lebih baik dalam mendeteksi lengkungan medial kaki yang tinggi (*high arch*) dibandingkan dengan 2 metode yang lainnya.
4. Berdasarkan nilai Koefisien Variasi (CV), Metode *Cavanagh Arch Index* (AI) (CV 11,60%) dengan nilai CV yang hampir mendekati stabilitas tinggi, metode *Cavanagh Arch Index* (AI) adalah yang paling dapat dipercaya atau paling konsisten di antara ketiga metode. Metode *Staheli Arch Index* (SI) (CV 18,21%) menunjukkan stabilitas sedang dan *Rearfoot Angle* (EA) (CV 53,65%) menunjukkan stabilitas buruk.

6. Daftar Pustaka

- [1] Wibowo, D. B., Haryadi, G. D., Widodo, A., & Rahayu, S. P. (2017). Correlation of Loaded and Unloaded Foot Area With Arch Index in Younger Flatfoot. MATEC Web of Conferences, 135, 00060.
- [2] Wibowo, D. B. (2019). PENGEMBANGAN PEMINDAI PEMINDAI TELAPAK KAKI UNTUK IDENTIFIKASI FLAT FOOT. Jurnal Rekayasa Mesin, 14(3), 104.
- [3] Umardani, Y., Wibowo, D. B., Caesarendra, W., Suprihanto, A., & Pranoto, K. A. (2022). Calculation of the Rearfoot Angle Representing Flatfoot from Comparison to the Cavanagh Arch Index. Applied Sciences, 12(13), 6764.
- [4] Sativani, Z., & Pahlawi, R. (2020). Foot Strengthening Exercise on Postural Balance and Functional Ability of Foot on Children 6-10 Years Old with Flexible Flatfoot. Jurnal Ilmiah Kesehatan (JIKA), 2(3), 99–107.
- [5] Cavanagh, P. R., & Rodgers, M. M. (1987). The arch index: A useful measure from footprints. Journal of Biomechanics, 20(5), 547–551.0020
- [6] ZUIL-ESCOBAR, Juan C., et al. Evaluating the medial longitudinal arch of the foot: correlations, reliability, and accuracy in people with a low arch. *Physical therapy*, 2019, 99.3: 364-372.
- [7] Zuil-Escobar, J. C., Martínez-Cepa, C. B., Martín-Urrialde, J. A., & Gómez Conesa, A. (2018). Medial Longitudinal Arch: Accuracy, Reliability, and Correlation Between Navicular Drop Test and Footprint Parameters. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 41(8), 672–679.
- [8] Zuil-Escobar, J. C., Martínez-Cepa, C. B., Martín-Urrialde, J. A., & Gómez Conesa, A. (2016). Reliability and Accuracy of Static Parameters Obtained From Ink and Pressure Platform Footprints. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics
- [9] Wilson, M. J. (2008). A synopsis of causation: Pes planus. Ministry of Defence, United Kingdom.
- [10] Matias, A. B., Caravaggi, P., Taddei, U. T., Leardini, A., & Sacco, I. C. N. (2020). Rearfoot, Midfoot, and Forefoot Motion in Naturally Forefoot and Rearfoot Strike Runners during Treadmill Running. Applied Sciences, 10(21), 7811.