

Profil Physiological Cost Index Pada Pengguna Transtibial Prosthesis Tipe SACH Foot

Profile of Physiological Cost Index In Users of Transtibial Prostheses with SACH Foot

Cica Tri Mandasari Ningsih^{1*}, Dody Suprayogi², Syarifah³

^{1,2,3}Program Studi Ortotik dan Prostetik, Poltekkes Kemenkes Surakarta, Surakarta, Indonesia

Abstrak

Pengguna transtibial prosthesis dapat mengalami peningkatan beban fisiologis selama berjalan akibat perubahan biomekanik dan strategi kompensasi setelah amputasi. Physiological Cost Index (PCI) merupakan indeks tidak langsung yang menggunakan perubahan denyut jantung dan kecepatan berjalan untuk menggambarkan kebutuhan fisiologis berjalan. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan profil PCI pada pengguna transtibial prosthesis tipe Solid Ankle Cushion Heel (SACH) Foot. Artikel ini menggunakan analisis deskriptif terhadap data 14 pengguna transtibial prosthesis unilateral yang menggunakan SACH Foot dan memenuhi kriteria penelitian. Data yang dianalisis meliputi usia, jenis kelamin, tinggi badan, berat badan, indeks massa tubuh, denyut jantung istirahat, denyut jantung saat berjalan, waktu tempuh, kecepatan berjalan, dan nilai PCI. Data disajikan dalam bentuk frekuensi, persentase, rerata, simpangan baku, nilai minimum, dan maksimum. Rerata usia responden adalah $36,36 \pm 4,34$ tahun dan rerata indeks massa tubuh $21,52 \pm 0,70$ kg/m². Rerata denyut jantung istirahat adalah $79,86 \pm 1,17$ denyut/menit dan meningkat menjadi $101,71 \pm 2,23$ denyut/menit saat berjalan. Rerata kecepatan berjalan adalah $65,63 \pm 4,05$ m/menit, sedangkan rerata PCI adalah $0,334 \pm 0,042$ beat/meter dengan rentang 0,263–0,428 beat/meter. Profil tersebut menunjukkan adanya respons kardiovaskular terhadap aktivitas berjalan pada pengguna SACH Foot dan memberikan gambaran awal mengenai kebutuhan fisiologis berjalan yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi lebih lanjut.

Kata kunci: Transtibial prosthesis, SACH Foot, Physiological Cost Index, Energy expenditure, Walking

Abstract

Users of transtibial prostheses may experience increased physiological demands during walking because of altered biomechanics and compensatory strategies after amputation. The Physiological Cost Index (PCI) is an indirect index that uses changes in heart rate and walking speed to describe the physiological cost of walking. This study aimed to describe the PCI profile of users of transtibial prostheses with a Solid Ankle Cushion Heel (SACH) Foot. This article used a descriptive analysis of data from 14 unilateral transtibial prosthesis users who used a SACH Foot and met the study criteria. Variables included age, sex, height, body weight, body mass index, resting heart rate, walking heart rate, walking time, walking speed, and PCI. Data were presented as frequencies, percentages, means, standard deviations, minimums, and maximums. The mean age was 36.36 ± 4.34 years and the mean body mass index was 21.52 ± 0.70 kg/m². Mean resting heart rate was 79.86 ± 1.17 beats/min and increased to 101.71 ± 2.23 beats/min during walking. Mean walking speed was 65.63 ± 4.05 m/min, while mean PCI was 0.334 ± 0.042 beat/meter, with a range of 0.263–0.428 beat/meter. The profile demonstrates a cardiovascular response to walking among SACH Foot users and provides an initial description of walking physiological cost that may support further clinical evaluation.

Keywords: Transtibial prosthesis, SACH Foot, Physiological Cost Index, Energy expenditure, Walking

1. PENDAHULUAN

Amputasi transtibial mengubah struktur dan fungsi ekstremitas bawah serta dapat memengaruhi pola berjalan, stabilitas, aktivitas fisik, dan tuntutan fisiologis selama mobilitas. Penggunaan prosthesis bertujuan mengembalikan fungsi berjalan dan mendukung aktivitas sehari-hari, tetapi berjalan dengan prosthesis tidak selalu memiliki karakteristik biomekanik dan energetik yang sama dengan berjalan pada individu tanpa amputasi. Studi pada pengguna amputasi ekstremitas bawah menunjukkan bahwa kebutuhan energi berjalan dipengaruhi oleh tingkat amputasi, penyebab amputasi, kecepatan berjalan, kontrol keseimbangan, dan karakteristik komponen prosthesis [1,2].

Foot prosthesis merupakan salah satu komponen penting pada *transtibial prosthesis* karena berperan dalam kontak dengan permukaan, stabilitas pada *fase stance*, dan mekanika gerak selama berjalan. *SACH Foot* merupakan desain pasif dengan struktur yang relatif sederhana dan tidak memiliki sendi pergelangan kaki yang berartikulasi, sedangkan beberapa desain *foot* lain memberikan karakteristik gerak atau pengembalian energi yang berbeda.

Corresponding author: Cica Tri Mandasari Ningsih, Poltekkes Kemenkes Surakarta, Surakarta, Indonesia

E-mail : cicatrimandasariningsih@gmail.com

DOI : 10.35451/jkf.v9i1.3906

Received : 2026-09-11, Accepted: 2026-10-20, Published: 2026-10-30

Copyright: © 2026 Cica Tri Mandasari Ningsih. Creative Commons License. This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Perbedaan karakteristik mekanik *foot* dapat memengaruhi parameter gait dan tuntutan metabolik pengguna [3–8]. Penelitian lokal juga menunjukkan bahwa pengguna *SACH Foot* dan *Single Axis Foot* dapat memiliki kecepatan berjalan yang berbeda, sehingga pemilihan jenis *foot* menjadi salah satu aspek yang relevan dalam evaluasi fungsi berjalan [6].

Energy expenditure atau kebutuhan energi berjalan merupakan salah satu aspek penting dalam keberhasilan penggunaan protesis karena berkaitan dengan efisiensi dan kemampuan pengguna dalam melakukan mobilitas sehari-hari. Pada individu dengan amputasi transtibial, kebutuhan energi berjalan dapat meningkat akibat perubahan mekanika tungkai, berkurangnya kontribusi otot pergelangan kaki, kompensasi pada sendi proksimal, serta kebutuhan untuk mempertahankan stabilitas. Meta-analisis menunjukkan bahwa pengaruh jenis *foot prosthesis* terhadap kebutuhan energi tidak selalu konsisten dan dapat dipengaruhi oleh kondisi berjalan serta karakteristik pengguna [3]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi fisiologis berjalan pada pengguna protesis tetap diperlukan, terutama untuk memperoleh gambaran respons individu terhadap aktivitas berjalan.

Dalam praktik klinis, informasi mengenai kebutuhan fisiologis berjalan dapat membantu memberikan gambaran tambahan mengenai tuntutan berjalan yang belum sepenuhnya terlihat melalui penilaian fungsi atau kecepatan berjalan saja. Pengukuran kebutuhan energi secara langsung melalui konsumsi oksigen membutuhkan peralatan metabolik dan prosedur yang relatif kompleks. *Physiological Cost Index (PCI)* merupakan metode tidak langsung yang menggunakan perbedaan denyut jantung saat berjalan dan saat istirahat dibagi dengan kecepatan berjalan. PCI dapat diterapkan dengan relatif sederhana dalam pengaturan klinis dan berpotensi digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengevaluasi respons fisiologis selama berjalan [18,19].

Meskipun demikian, data mengenai profil PCI pada pengguna *transtibial prosthesis* dengan *SACH Foot* masih diperlukan untuk memberikan gambaran dasar mengenai respons fisiologis kelompok pengguna tersebut. *SACH Foot* merupakan salah satu desain *foot prosthesis* yang masih digunakan karena konstruksinya relatif sederhana dan tidak memiliki sendi pergelangan kaki yang berartikulasi. Karakteristik mekanik tersebut dapat menghasilkan pola gerak dan tuntutan fisiologis yang berbeda dibandingkan desain *foot* lainnya [3–8]. Penelitian lokal juga menunjukkan adanya perbedaan kecepatan berjalan antara pengguna *SACH Foot* dan *Single Axis Foot* [6]. Namun, informasi mengenai kecepatan berjalan saja belum memberikan gambaran mengenai kebutuhan fisiologis yang diperlukan untuk menghasilkan aktivitas berjalan tersebut. Oleh karena itu, penggambaran nilai PCI pada pengguna *SACH Foot* menjadi penting sebagai data awal untuk memahami respons fisiologis berjalan dan sebagai dasar evaluasi lebih lanjut pada pengguna *transtibial prosthesis*.

Penelitian mengenai *foot prosthesis* banyak berfokus pada perbandingan desain atau komponen dengan pengukuran metabolik langsung. Studi tentang *foot prosthesis* menunjukkan bahwa perubahan karakteristik mekanik dapat mengubah pola koordinasi, kerja mekanik, atau kebutuhan energi, tetapi besarnya pengaruh tidak selalu seragam antar pengguna [4,7,11–17]. Dengan demikian, sebelum melakukan analisis perbandingan antarjenis *foot*, diperlukan gambaran deskriptif yang jelas mengenai karakteristik dan respons fisiologis pengguna pada masing-masing kelompok. Profil kelompok *SACH Foot* dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan data awal mengenai karakteristik responden, parameter fisiologis berjalan, dan rentang PCI yang dapat menjadi dasar untuk penelitian komparatif selanjutnya.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian observasional analitik mengenai *energy expenditure* pada pengguna *transtibial prosthesis* berdasarkan jenis *foot prosthesis*. Artikel ini secara khusus memfokuskan analisis pada kelompok pengguna *SACH Foot* dan tidak melakukan perbandingan dengan *Single Axis Foot*. Tujuan penelitian adalah mendeskripsikan karakteristik responden, parameter fisiologis berjalan, kecepatan berjalan, dan nilai *Physiological Cost Index* pada pengguna transtibial prosthesis tipe *SACH Foot*.

2. METODE

Desain dan subjek penelitian

Artikel ini menyajikan analisis deskriptif terhadap data kelompok *SACH Foot* yang merupakan bagian dari penelitian kuantitatif observasional analitik dengan desain *comparative study*. Subjek dipilih menggunakan *purposive sampling*. Kelompok yang dianalisis terdiri atas 14 pengguna *transtibial prosthesis unilateral* dengan

SACH Foot. Kriteria inklusi dalam protokol penelitian meliputi pengguna *transtibial prosthesis unilateral*, usia 15–55 tahun, mampu berjalan mandiri menggunakan prosthesis, kondisi stump baik tanpa nyeri, luka, atau kontraktur, dan bersedia mengikuti penelitian. Kriteria eksklusi meliputi gangguan muskuloskeletal, neurologis, atau kardiovaskular yang dapat memengaruhi pola berjalan atau denyut jantung, serta pengguna baru prosthesis dengan masa penggunaan kurang dari satu bulan.

Tempat dan waktu penelitian

Pengumpulan data dilakukan pada layanan prostetik Klinik Bangkit Ortotik Prostetik, Boyolali, serta beberapa lokasi domisili responden sesuai koordinasi lapangan. Pengambilan data dilakukan setelah penelitian memperoleh persetujuan etik. *Ethical Clearance* diterbitkan oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan Poltekkes Kemenkes Surakarta dengan Nomor DP.04.04/F.XVII/3558/2026 pada 2 Juli 2026 dan berlaku sampai 2 Juli 2027.

Bahan dan alat

Data penelitian berasal dari formulir karakteristik responden dan lembar pengukuran *Physiological Cost Index*. Parameter yang digunakan dalam artikel ini meliputi umur, jenis kelamin, tinggi badan, berat badan, indeks massa tubuh, denyut jantung istirahat, denyut jantung saat berjalan, waktu tempuh, kecepatan berjalan, dan PCI. Perangkat pengukuran denyut jantung, jarak, dan waktu digunakan sesuai protokol pengambilan data penelitian. Merek dan model perangkat perlu dicantumkan pada naskah final sesuai catatan alat yang digunakan saat pengambilan data; informasi tersebut tidak tercantum pada dataset yang dianalisis dalam artikel ini.

Prosedur pengukuran

Setiap responden diberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian serta menandatangani *informed consent* sebelum pengambilan data. Karakteristik responden dan parameter antropometri dicatat terlebih dahulu. Denyut jantung istirahat diukur sebagai nilai dasar, kemudian responden melakukan aktivitas berjalan menggunakan *SACH Foot* sesuai protokol penelitian. Setelah aktivitas berjalan, denyut jantung saat berjalan dan waktu tempuh dicatat, kemudian kecepatan berjalan digunakan dalam perhitungan PCI. Nilai PCI dihitung menggunakan persamaan: $PCI \text{ (beat/meter)} = [HR \text{ berjalan (beat/menit)} - HR \text{ istirahat (beat/menit)}] / \text{kecepatan berjalan (meter/menit)}$. Rumus ini mengikuti formulasi PCI berbasis perubahan denyut jantung dan kecepatan berjalan [18,19].

Analisis data

Analisis pada artikel ini bersifat deskriptif karena tujuan artikel adalah menggambarkan profil kelompok *SACH Foot*. Variabel kategorik disajikan sebagai frekuensi dan persentase, sedangkan variabel numerik disajikan sebagai rerata $\pm$ simpangan baku serta nilai minimum dan maksimum. Tidak dilakukan uji hipotesis perbandingan dengan Single Axis Foot dalam artikel ini. Analisis komparatif antarjenis foot merupakan bagian dari tahapan penelitian berikutnya dan tidak menjadi tujuan publikasi profil ini.

3. HASIL

Sebanyak 14 pengguna *transtibial prosthesis* tipe *SACH Foot* dianalisis. Responden terdiri atas 9 laki-laki (64,3%) dan 5 perempuan (35,7%). Rerata usia adalah $36,36 \pm 4,34$ tahun dengan rentang 28–42 tahun. Rerata tinggi badan $1,632 \pm 0,054$ m, berat badan $57,36 \pm 3,63$ kg, dan indeks massa tubuh $21,52 \pm 0,70$ kg/m². Secara keseluruhan, rentang IMT berada antara 20,81 dan 23,42 kg/m².

Tabel 1. Karakteristik responden pengguna transtibial prosthesis tipe SACH Foot (n=14)

Variabel	Mean	SD	Minimum	Maksimum
Umur (tahun)	36,36	4,34	28	42
Tinggi badan (m)	1,632	0,054	1,55	1,71
Berat badan (kg)	57,36	3,63	50	63
IMT (kg/m ²)	21,52	0,70	20,81	23,42

Catatan: Data jenis kelamin terdiri atas 9 laki-laki (64,3%) dan 5 perempuan (35,7%).

Parameter fisiologis dan berjalan menunjukkan rerata denyut jantung istirahat sebesar $79,86 \pm 1,17$ denyut/menit dan rerata denyut jantung saat berjalan sebesar $101,71 \pm 2,23$ denyut/menit. Rerata waktu tempuh yang tercatat

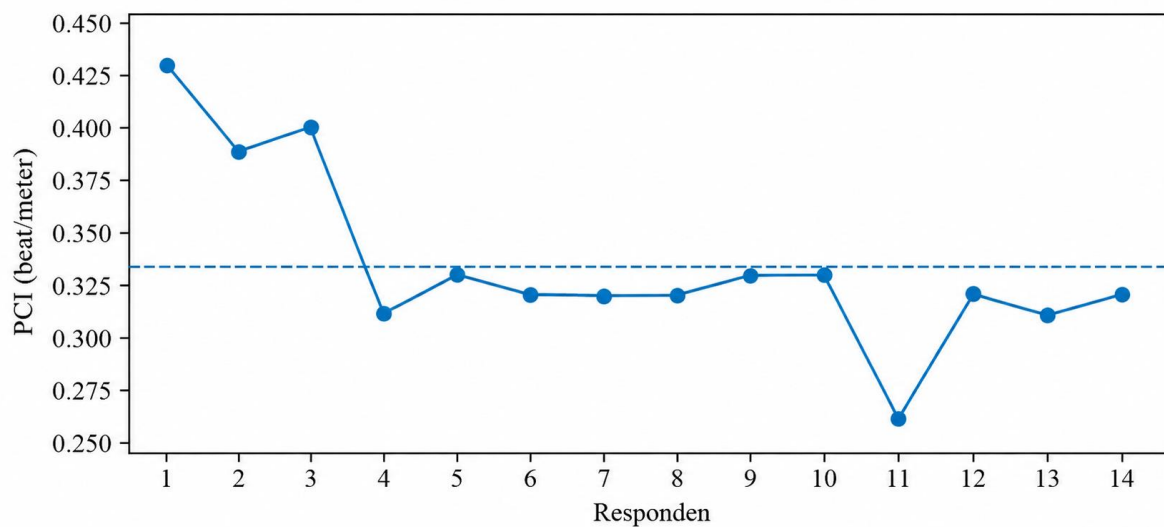
dalam dataset adalah $9,18 \pm 0,57$ menit, sedangkan rerata kecepatan berjalan adalah $65,63 \pm 4,05$ m/menit. Nilai PCI memiliki rerata $0,334 \pm 0,042$ beat/meter dengan rentang 0,263–0,428 beat/meter.

Tabel 2. Parameter fisiologis dan Physiological Cost Index pada pengguna SACH Foot (n=14)

Variabel	Mean	SD	Minimum	Maksimum
Denyut jantung istirahat (denyut/menit)	79,86	1,17	77	82
Denyut jantung saat berjalan (denyut/menit)	101,71	2,23	98	106
Waktu tempuh (menit)	9,18	0,57	8,43	10,00
Kecepatan berjalan (m/menit)	65,63	4,05	60,00	71,17
PCI (beat/meter)	0,334	0,042	0,263	0,428

Gambar 1. Distribusi nilai Physiological Cost Index pada 14 pengguna SACH Foot.

Distribusi Nilai Physiological Cost Index pada Pengguna SACH Foot



Gambar 1. Distribusi nilai Physiological Cost Index pada 14 pengguna SACH Foot.

Nilai PCI pada responden menunjukkan variasi individual. Nilai terendah adalah 0,263 beat/meter dan nilai tertinggi 0,428 beat/meter. Perbedaan tersebut terjadi meskipun responden berada dalam kelompok foot prosthesis yang sama, sehingga karakteristik individu dan kemampuan berjalan tetap perlu dipertimbangkan dalam interpretasi kebutuhan fisiologis.

4. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 14 pengguna *SACH Foot* memiliki rerata usia 36,36 tahun dengan karakteristik antropometri yang relatif berdekatan. Kelompok ini terdiri atas lebih banyak laki-laki dibandingkan perempuan. Karakteristik responden penting dipertimbangkan karena kapasitas fisik, komposisi tubuh, kebiasaan aktivitas, dan kemampuan berjalan dapat memengaruhi respons fisiologis selama berjalan. Studi pada populasi amputasi juga menunjukkan adanya variasi karakteristik dan kemampuan fungsional yang dapat memengaruhi tuntutan berjalan [1,2].

Rerata denyut jantung meningkat dari 79,86 denyut/menit saat istirahat menjadi 101,71 denyut/menit saat berjalan. Peningkatan ini menunjukkan adanya respons kardiovaskular terhadap aktivitas berjalan. Dalam PCI, besarnya perubahan denyut jantung tersebut kemudian dipertimbangkan bersama kecepatan berjalan, sehingga PCI tidak hanya menggambarkan besarnya denyut jantung saat aktivitas, tetapi kebutuhan fisiologis relatif terhadap jarak yang ditempuh. Dengan demikian, responden yang memiliki denyut jantung berjalan lebih tinggi belum tentu memiliki PCI lebih tinggi apabila berjalan pada kecepatan yang juga lebih tinggi.

Rerata kecepatan berjalan pada kelompok *SACH Foot* adalah 65,63 m/menit. Kecepatan berjalan merupakan komponen penting dalam interpretasi PCI karena menjadi penyebut dalam persamaan PCI. Penelitian Patra et al. menunjukkan bahwa perubahan kecepatan berjalan pada individu dengan amputasi transtibial dapat berkaitan dengan perubahan parameter gait dan *energy expenditure* [5]. Penelitian Fatati et al. pada pengguna *SACH Foot* dan *Single Axis Foot* juga menunjukkan bahwa jenis foot berkaitan dengan perbedaan kecepatan berjalan [6]. Temuan tersebut memperkuat alasan bahwa profil kecepatan berjalan perlu dilaporkan bersama nilai PCI, bukan hanya nilai PCI secara terpisah.

Nilai PCI rata-rata kelompok *SACH Foot* adalah 0,334 beat/meter dengan rentang 0,263–0,428 beat/meter. PCI merupakan indeks kebutuhan fisiologis yang dihitung dari selisih denyut jantung berjalan dan istirahat dibagi kecepatan berjalan [18,19]. Nilai tersebut sebaiknya tidak langsung dikategorikan sebagai normal atau abnormal tanpa mempertimbangkan populasi, protokol tes, kecepatan berjalan, kondisi klinis, dan kemampuan fungsional responden. Brunelli et al. menunjukkan bahwa hubungan PCI dengan *energy cost walking* pada pengguna transtibial dapat bergantung pada kondisi pengujian; PCI lebih berguna sebagai ukuran praktis untuk pemantauan dalam subjek daripada sebagai pengganti langsung pengukuran konsumsi oksigen [18].

Variasi PCI antarsubjek pada penelitian ini juga relevan. Nilai terendah 0,263 dan tertinggi 0,428 beat/meter menunjukkan adanya variasi kebutuhan fisiologis berjalan di dalam kelompok *SACH Foot*. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh kecepatan berjalan, strategi gait, kondisi *stump* dan *socket*, kebiasaan penggunaan prosthesis, kebugaran, serta faktor individu lain. Literatur mengenai *prosthetic foot* menunjukkan bahwa respons metabolik dan biomekanik tidak selalu sama pada setiap pengguna, bahkan ketika jenis foot dibandingkan dalam kondisi yang relatif terkontrol [3,4,7,11–17].

Temuan penelitian ini juga perlu ditempatkan dalam konteks perkembangan desain *prosthetic foot*. Lura et al. menunjukkan bahwa beberapa desain *foot* dapat memberikan perbedaan karakteristik kinematik, kinetik, dan metabolik, sedangkan *systematic review* oleh Hafner et al. menyimpulkan bahwa pengaruh jenis *foot* terhadap kebutuhan energi tidak selalu konsisten pada semua kondisi berjalan [3,4]. Penelitian Lathouwers et al. menunjukkan bahwa desain *ankle-foot* pasif yang berbeda dapat mengubah pola koordinasi berjalan [7]. Sementara itu, penelitian yang lebih baru menunjukkan bahwa penyetelan kekakuan dan *alignment foot* secara individual dapat menurunkan *metabolic cost* [16]. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa respons fisiologis selama berjalan tidak hanya ditentukan oleh jenis *prosthetic foot*, tetapi juga oleh karakteristik pengguna, kondisi berjalan, serta konfigurasi dan penyetelan prosthesis. Oleh karena itu, profil PCI pada pengguna *SACH Foot* dalam penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai gambaran respons fisiologis kelompok pada kondisi pengukuran tertentu, bukan sebagai indikator tunggal keunggulan suatu desain *prosthetic foot*.

Metode PCI memiliki keuntungan praktis karena tidak memerlukan pengukuran konsumsi oksigen secara langsung. Hal ini relevan untuk layanan prostetik yang membutuhkan metode evaluasi sederhana dan dapat diterapkan di lapangan. Penelitian terbaru juga menegaskan pentingnya metode pengukuran energi yang lebih mudah diterapkan pada individu dengan amputasi, termasuk pengembangan protokol *walking test* dengan durasi lebih singkat [15]. Namun, keterbatasan PCI harus diperhatikan karena denyut jantung dipengaruhi oleh berbagai faktor selain aktivitas berjalan. Oleh sebab itu, pengukuran sebaiknya dilakukan dengan prosedur yang konsisten dan kondisi responden yang relatif terkontrol.

Selain kecepatan berjalan, karakteristik *prosthetic foot* juga menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam evaluasi kebutuhan berjalan. Lura et al. melakukan penelitian crossover pada 14 individu dengan amputasi transtibial menggunakan tiga jenis *prosthetic feet* dan menemukan bahwa pengguna transtibial memiliki denyut jantung dan *oxygen uptake* yang lebih tinggi dibandingkan kelompok tanpa amputasi. Namun, perbedaan performa metabolik antar-*prosthetic feet* yang diuji relatif minimal [4]. Hasil tersebut mendukung bahwa respons fisiologis selama berjalan merupakan hasil interaksi antara karakteristik pengguna, kecepatan berjalan, dan desain prosthesis, sehingga nilai PCI pada penelitian ini lebih tepat digunakan sebagai gambaran profil fisiologis kelompok pengguna *SACH Foot* daripada sebagai indikator tunggal superioritas suatu jenis *prosthetic foot*.

Artikel ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah responden pada kelompok SACH Foot hanya 14 orang sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi secara luas. Kedua, artikel ini bersifat deskriptif dan tidak membandingkan PCI dengan kelompok Single Axis Foot atau kelompok tanpa amputasi. Ketiga, dataset yang tersedia tidak memuat seluruh informasi teknis alat pengukuran, sehingga merek dan model perangkat perlu ditambahkan pada naskah final berdasarkan catatan lapangan. Keempat, PCI merupakan indikator tidak langsung sehingga tidak dapat diperlakukan sebagai pengukuran langsung konsumsi oksigen. Keterbatasan tersebut menyebabkan hasil penelitian ini perlu dipandang sebagai profil awal pengguna *SACH Foot* dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan perbedaan biaya fisiologis antarjenis *prosthetic foot*.

Secara keseluruhan, hasil memberikan gambaran bahwa pengguna *transtibial prosthesis* dengan *SACH Foot* dalam kelompok penelitian memiliki rerata PCI 0,334 beat/meter. Informasi ini dapat digunakan sebagai data deskriptif awal dalam evaluasi fisiologis berjalan dan sebagai dasar untuk analisis berikutnya. Analisis perbandingan dengan pengguna *Single Axis Foot* akan memberikan informasi yang lebih kuat mengenai apakah perbedaan jenis *foot* berkaitan dengan perbedaan *energy expenditure*, tetapi analisis tersebut tidak dilakukan dalam artikel profil ini.

5. KESIMPULAN

Pengguna *transtibial prosthesis* tipe *SACH Foot* dalam penelitian ini memiliki rerata *Physiological Cost Index* (PCI) sebesar $0,334 \pm 0,042$ beat/meter, dengan rentang 0,263–0,428 beat/meter. Hasil tersebut memberikan gambaran deskriptif mengenai respons fisiologis dan kebutuhan berjalan pada pengguna *transtibial prosthesis* tipe *SACH Foot*. Temuan ini dapat menjadi data awal untuk penelitian selanjutnya mengenai *energy expenditure* pada pengguna *transtibial prosthesis* dengan jenis *foot prosthesis* yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Poltekkes Kemenkes Surakarta, mitra Klinik Bangkit Ortotik Prostetik Boyolali, serta seluruh responden yang telah mendukung pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ladlow P, Nightingale TE, McGuigan MP, Bennett AN, Koumanov F, Phillip R, Bilzon JL. Influence of traumatic lower-limb amputation on physical activity, body composition, and cardiometabolic risks: a descriptive preliminary study. *PM R*. 2023;15(4):413-425. doi:10.1002/pmrj.12854.
- [2] Ettema S, Kal E, Houdijk H. General estimates of the energy cost of walking in people with different levels and causes of lower-limb amputation: a systematic review and meta-analysis. *Prosthet Orthot Int*. 2021;45(5):417-427. doi:10.1097/PXR.0000000000000035.
- [3] Hafner BJ, Halsne EG, Morgan SJ, Morgenroth DC, Humbert AT. Effects of prosthetic feet on metabolic energy expenditure in people with transtibial amputation: a systematic review and meta-analysis. *PM R*. 2022;14(9):1099-1115. doi:10.1002/pmrj.12693.
- [4] Lura DJ, Carey SL, Miro RM, Kahle JT, Highsmith MJ. Crossover study of kinematic, kinetic, and metabolic performance of active persons with transtibial amputation using three prosthetic feet. *J Prosthet Orthot*. 2021;33(2):110-117. doi:10.1097/JPO.0000000000000290.
- [5] Patra S, Mohanty RK, Das SP. Effect of walking speed on gait parameters and energy expenditure in individuals with unilateral trans-tibial amputation. *Function and Disability Journal*. 2021;4(1):41. doi:10.32598/fdj.4.41.
- [6] Fatati M, Setyawan D, Fikria LH. Perbedaan kecepatan berjalan pada pengguna transtibial prosthesis tipe SACH foot dan single axis foot. *Medical Journal of Nusantara*. 2024;3(1):23-31. doi:10.55080/mjn.v3i1.595.
- [7] Lathouwers E, Baeyens JP, Tassignon B, Gomez F, Chelle P, Meeusen R, Vanderborght B, De Pauw K. Continuous relative phases of walking with an articulated passive ankle-foot prosthesis in individuals with a unilateral transfemoral and transtibial amputation: an explorative case-control study. *Biomed Eng Online*. 2023;22:14. doi:10.1186/s12938-023-01074-2.
- [8] Modares Sabzevari MH, Anbarian M, Safari MR, Tabatabai SF, Razi MJ. Biomechanical analysis of the effect of solid ankle cushion heel and dynamic feet during running of individuals with unilateral transtibial amputations. *Archives of Rehabilitation*. 2022;23(1):126-139. doi:10.32598/RJ.23.1.3126.1.
- [9] Guerra G, Smith JD, Yoon EJ. The relationship between balance confidence and center of pressure in lower-limb prosthesis users. *Biomechanics*. 2023;3(4):561-570. doi:10.3390/biomechanics3040039.

- [10] Houdijk H, Blokland IJ, Nazier SA, Castenmiller SV, van den Heuvel I, IJmker T. Effects of handrail and cane support on energy cost of walking in people with different levels and causes of lower limb amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021;102(7):1340-1346.e3. doi:10.1016/j.apmr.2021.02.007.
- [11] Von Kaeppeler EP, Hetherington A, Donnelley CA, Ali SH, Shirley C, Challa ST, et al. Impact of prostheses on quality of life and functional status of transfemoral amputees in Tanzania. *Afr J Disabil.* 2021;10:a839. doi:10.4102/ajod.v10i0.839.
- [12] Colas-Ribas C, Martinet N, Audat G, Bruneau A, Paysant J, Abraham P. Effects of a microprocessor-controlled ankle-foot unit on energy expenditure, quality of life, and postural stability in persons with transtibial amputation: an unblinded, randomized, controlled, cross-over study. *Prosthet Orthot Int.* 2022;46(6):541-548. doi:10.1097/PXR.000000000000187.
- [13] Colvin ZA, Montgomery JR, Grabowski AM. Effects of powered versus passive-elastic ankle foot prostheses on leg muscle activity during level, uphill and downhill walking. *R Soc Open Sci.* 2022;9(12):220651. doi:10.1098/rsos.220651.
- [14] Kim J, et al. The effect of powered ankle prostheses on muscle activity during walking. *J Biomech.* 2021;124:110573. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110573.
- [15] Ikeda AJ, Smit JA, Simon AM, Anarwala SJ, Hargrove LJ. Measuring metabolic energy expenditure with short duration walking tests for individuals with lower limb amputation. *PLoS One.* 2025;20(3):e0320384. doi:10.1371/journal.pone.0320384.
- [16] Tankink T, Houdijk H, Tabucol J, Leopaldi M, Hijmans JM, Carloni R. Human-in-the-loop optimization of the stiffness and alignment of a prosthetic foot to reduce the metabolic cost of walking. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2025;33:2823-2833. doi:10.1109/TNSRE.2025.3590581.
- [17] Muijres W, Afschrift M, Ronsse R, De Groote F. Transtibial amputation increases the metabolic energy needed for stabilizing walking in the sagittal plane. *J Appl Physiol.* 2026;141(1):71-84. doi:10.1152/jappphysiol.00877.2025.
- [18] Brunelli S, Sancesario A, Iosa M, Delussu AS, Gentileschi N, Bonanni C, Foti C, Traballese M. Which is the best way to perform the Physiological Cost Index in active individuals with unilateral trans-tibial amputation? *Can Prosthet Orthot J.* 2019;2(1). doi:10.33137/cpoj.v2i1.32953.
- [19] MacGregor J. The objective measurement of physical performance with long-term ambulatory physiological surveillance equipment (LAPSE). In: Stott FD, Raftery EB, Goulding L, editors. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Ambulatory Monitoring.* London: Academic Press; 1979. p.29-39.
- [20] Nene AV. Physiological cost index of walking in able-bodied adolescents and adults. *Clin Rehabil.* 1993;7(4):319-326. doi:10.1177/026921559300700408.