

Kajian Reka Bentuk dan Fabrikasi Alat Rehabilitasi Kaki Ergonomik bagi Penderita Bunion Menggunakan Teknologi Pembuatan Aditif

(Design Study and Fabrication of Ergonomic Foot Rehabilitation Tool for Bunion Sufferers Using Additive Manufacturing Technology)

Zaliha Wahid*, Abdul Hakim Abdul Halim, Nor Kamaliana Khamis & Wan Aizon W Ghopa

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,

Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

*Corresponding author: zaliha@ukm.edu.my

*Received 6 May 2024, Received in revised form 26 August 2024
Accepted 26 September 2024, Available online 30 November 2024*

ABSTRAK

Bunion atau Hallux Valgus adalah benjolan bertulang pada sendi yang menyambungkan kaki dengan ibu jari kaki. Bunion menyebabkan kesakitan atau rasa tidak selesa terutama apabila memakai kasut. Pilihan kasut yang bersesuaian bukanlah penyelesaian sebenar kerana terhad memilih kasut jenis terbuka dihadapan agar bahagian ini tidak tertekan. Manakala lapik komersil pula bersifat umum dari segi saiz sedangkan fenomena ini berbeza dari satu individu kepada individu yang lain. Oleh itu, objektif kajian ini adalah untuk mencadangkan reka bentuk pelapik bunion dengan rekaan khas mengikut keperluan individu dan kemudiannya membuat fabrikasi menggunakan kaedah ekonomik bagi pengeluaran bersaiz kecil iaitu pembuatan aditif. Seorang subjek yang dipilih dalam kajian ini mengalami masalah bunion pada tahap pembentukan bunion yang pertama. Kaedah temu bual dan pengumpulan data antropometrik pada kaki subjek menggunakan angkup vernier dan antropometer telah dijalankan sebelum reka bentuk pelapik bunion dihasilkan mengikut saiz dan bentuk kaki subjek. Fabrikasi dijalankan menggunakan kaedah percetakan 3D jenis Pemodelan Pemendapan Bercantum (FDM) dan bahan yang digunakan adalah Poliuretana Termoplastik (TPU). Taburan tekanan pada kaki subjek diambil tanpa memakai pad bunion dengan menggunakan peta Tactilus untuk membandingkan bahagian dengan tekanan tinggi dan memastikan reka bentuk dapat memberikan keselesaan kepada subjek. Reka bentuk pad bunion ini dibahagikan kepada dua bahagian, iaitu pelapik ibu jari dan pelapik pada bahagian metatarsal (MTP). Melalui temubual selepas pemakaian, pelapik bunion dengan ketumpatan pengisian 60% yang direka khas mampu menyokong tekanan pada bunion subjek dan memberi keselesaan kepada pemakai.

Kata kunci: Bunion; antropometrik; kaki; Pemodelan Pemendapan Bercantum (FDM)

ABSTRACT

Bunion or Hallux Valgus is a bony bump at the joint connecting the foot with the big toe. Bunions cause pain and discomfort especially when wearing shoes. Choosing appropriate footwear is not a real solution because it is limited to selecting open-toed shoes to avoid pressure on this area. Commercial insoles are generally available in standard sizes, whereas this phenomenon varies from one individual to another. Therefore, the objective of this study is to suggest bunion pads design with custom designs according to individual needs and then fabricate them using economical methods for small-scale production, i.e., additive manufacturing. A subject chosen in this study experiences bunion problems at the initial formation stage. Interview methods and anthropometric data collection on the patient's foot using vernier calipers and an anthropometer were conducted before designing the bunion pad according to the subject's size and foot shape. Fabrication was carried out using a 3D printing method called Fused Deposition Modeling (FDM), and the material used was Thermoplastic Polyurethane (TPU). Pressure distribution on the subject's foot was taken without wearing the bunion pad using a Tactilus pressure mapping system to compare areas with high pressure and ensure that

the design could provide comfort to the subject. The design of this bunion pad is divided into two parts, namely the thumb liner and the liner on the metatarsal (MTP) region. In the interview, after wearing the bunion pad with a 60% infill density, which was specifically designed to support pressure on the subjects, users reported improved comfort.

Keywords: Bunion; anthropometric; foot; Fused Deposition Modelling (FDM)

PENGENALAN

Bunion iaitu keadaan tulang berlebihan pada sendi jari kaki di bahagian Metatarsophalangeal pertama di ibu jari kaki. Pembentukan bunion menyebabkan pelbagai simptom yang boleh menurunkan kualiti kehidupan seperti sakit, tidak keseimbangan, kesukaran berjalan dan masalah memilih kasut (Lewis et al. 2023). Penggunaan kasut yang ketat dan tidak sesuai boleh menyebabkan ibu jari kaki menjadi bengkak. Apabila ibu jari kaki dibengkokkan, sendi akan menjadi merah dan menyakitkan. Morfologi manusia pula berbeza mengikut bangsa, jantina dan umur menyebabkan keperluan yang berbeza perlu dipenuhi jika inginkan alat

yang benar-benar sesuai dan ergonomik (Mat Tahir et al. 2020). Bunion biasanya bermula secara berperingkat sedikit demi sedikit dan lama kelamaan ia akan turut mewujudkan komplikasi lain seperti bursitis, radang pada kantong cairan yang berfungsi sebagai kusen antara tulang dan tendon atau arthritis (Knorr et al. 2022). Wanita yang mula memakai kasut tumit tinggi antara umur 20-64 menunjukkan peningkatan 47% dalam perkembangan bunion dalam hidup mereka (Yamamoto et al. 2020). Demikian, bunion berlaku kepada sesiapa sahaja sama ada lelaki atau wanita, namun ramai dikalangan wanita lambat mengetahui bahawa mereka hadapi bunion lantaran tidak merasa sakit sehingga berlaku gejala-gejala yang menyukarkan mereka melakukan kerja harian.



RAJAH 1. Contoh beberapa keadaan kaki yang mengalami Hallux Valgus (Li et al. 2023)

Terdapat juga pelbagai kaedah klinikal yang digunakan untuk mengklasifikasikan kecacatan hallux valgus (HV) dan menentukan keparahannya dan membangunkan yang mengklasifikasikan keterukan HV dalam 4 tahap berbeza sebagai normal ($< 15^\circ$), ringan (15° hingga 20°), sederhana (21° hingga 39°), dan teruk ($\geq 40^\circ$) (Vila & Pique-Vidal, 2009). Tambahan pula, Skala Manchester ialah diagnostik klinikal bukan invasif dengan kesahihan radiografi yang

merangkumi empat gambar kaki (Menzildzic et al. 2021) (Vila & Pique-Vidal, 2009). Bukan sahaja sudut radiografi harus dinilai, tetapi juga dengan perubahan osteoarthritis pada sendi metatarsophalangeal pertama (MTP), bentuk permukaan artikular distal tulang metatarsal pertama, saiz penonjolan medial, jarak protrusi metatarsal pertama, tulang, dan tahap anjakan tulang sesamoid. (Katsui et al. 2016).

Dari segi lain, kecacatan kaki progresif yang ditunjukkan dengan orientasi medial tulang metatarsal pertama, sisihan sisi ibu jari kaki pada tahap sendi metatarsophalangeal (MTP) dan pronasi (evers) tulang metatarsal dalam paksi membujur (Heineman et al. 2019). Carl Huster mengenal pasti Hallux Valgus (HV) pada tahun 1877 sebagai sejenis ubah bentuk yang dicirikan oleh kehelan stabil sendi MTP pertama, pesongan luar jari kaki, dan sisihan medial tulang metatarsal pertama. Berikutan itu, nama Hallux Abducto Valgus (HAV), yang menggabungkan kecacatan pronasi yang ditunjukkan dalam keadaan progresif, digunakan sebagai nama yang lebih sesuai. (Karacan & Erdogan, 2020).

Penderita bunion memerlukan rawatan rehabilitasi jangka masa panjang dengan matlamat utama untuk memulihkan kecacatan dan mengurangkan kesakitan. Pada awalnya, penderita bunion perlu mendapat rawatan daripada pakar fisioterapi dan pakar ortopedik. Disiplin dalam fasa pemulihan akan memberi kelegaan dan mengurangkan batas pergerakan psikofizikal. Matlamatnya adalah untuk mencapai sehampir mungkin fungsi pergerakan kaki menjadi tahap biasa. Pada masa yang sama, penderita bunion perlu menyesuaikan diri dengan ketidakupayaan dengan mempelajari ilmu baru dengan menggunakan peralatan sampingan bagi mengurangkan pembentukan pada tulang serta mencari keselesaan dengan keadaan ini (Phelps et al. 2023).

Komponen utama bagi ergonomik iaitu keselesaan, kesejahteraan dan keberkesanan. Peningkatan keselesaan pada bagi kaki boleh mengurangkan kelesuan semasa melakukan kerja dan menyumbang kepada produktiviti yang lebih tinggi pada penghidap penyakit bunion. Akibat ergonomik yang baik atau buruk akan memberi kesan kepada orang yang menderita terhadap HV. Terdapat kesan buruk yang menyebabkan keperluan untuk mendapat

rawatan pembedahan atau konservatif bagi subjek bunion. Kesan baik pada ergonomik sangat berisiko dan banyak permintaan dari pelbagai aspek seperti kasut, kerusi, meja dan banyak lagi.

Pembuatan aditif adalah satu kaedah pembuatan baru yang semakin mendapat perhatian dalam pelbagai bidang. Kelebihannya adalah kebebasan dalam rekabentuk termasuk reka bentuk kompleks dan memerlukan pengkhususan spesifikasi individu yang lebih ekonomik (Sheikh et al. 2024). Oleh itu objektif kajian ini adalah untuk mencadangkan reka bentuk pelapik bunion dan fabrikasi pelapik bunion yang mampu menyokong tekanan pada bunion dari bahan yang sesuai dan untuk menguji keberkesanan pelapik bunion yang dihasilkan.

METODOLOGI

PENGUMPULAN DATA

Proses pengumpulan data dijalankan dengan tiga proses utama iaitu temubual bagi mendapatkan persepsi subjek, pencerapan data antropometrik dan pengukuran taburan tekanan pada bahagian tapak kaki menggunakan Tactilus Mat yang boleh mencerap data tekanan pada titik persentuhan dengan alatan (Khamis et al. 2019).

Seorang subjek terpilih ditemubual bagi mengenal pasti masalah yang dihadapi dan tahap kesakitan bunion yang dialami. Pencerapan data antropometrik subjek dengan menggunakan alatan antropometer dengan angkup vernier. Data antropometrik pada kaki sangat bersesuaian untuk reka bentuk dan pengeluaran pelapik kaki (Lima et al. 2023). Penggunaan alatan antropometer dapat membuat ukuran panjang kaki subjek yang melebihi 25 cm.



RAJAH 2. Pengukuran antropometrik kaki subjek menggunakan (a) alat antropometer dan (b) angkup vernier

Taburan tekanan kawasan tapak kaki subjek diukur dengan menggunakan Tactilus Mat. Apabila subjek meletakkan kaki, penderia pada Tactilus Mat akan mengesan dua permukaan bersentuhan dan memberikan data tekanan kaki untuk direkodkan.

Maklumat taburan tekanan kawasan tapak kaki subjek

menggunakan peralatan Tactilus Mat akan direkodkan ke perisian komputer untuk mendapatkan data taburan tekanan kaki subjek selepas proses selesai. Data taburan tersebut akan dieksport terus kepada komputer untuk mengetahui tahap tekanan pada empat bahagian kaki iaitu bahagian jari kaki, metatarsa, tengah kaki dan tumit.



RAJAH 3. Proses pencerapan data taburan tekanan pada tapak kaki subjek menggunakan Tactilus Mat



RAJAH 4. Reka bentuk pelapik bunion

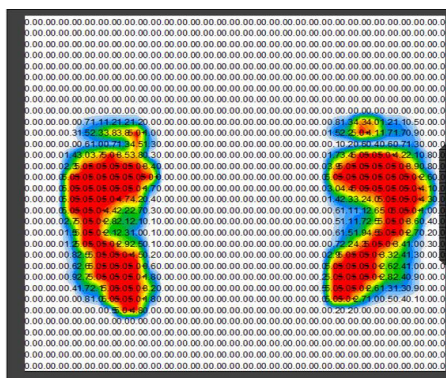
Rekabentuk pelapik seperti dalam Rajah 4, dicetak menggunakan kaedah pembuatan aditif jenis Fused Deposition Modelling. Bahan yang dipilih dalam fabrikasi ini adalah menggunakan bahan filamen TPU, sejenis termoplastik yang anjal, boleh digunakan dalam pelbagai proses pengeluaran dan bersifat lebih lembut sesuai dengan aplikasi yang hendak digunakan (Singh & Mali, 2023). Memandangkan sentuhan bahan dengan kulit memainkan peranan yang penting bagi mengelak kerengsaan (Ghazali et al. 2021) lapisan dari gel silikon juga turut diletakkan kerana bahan ini mempunyai keupayaan untuk mengurangkan gejala ketidakselesaan pada pemakai.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

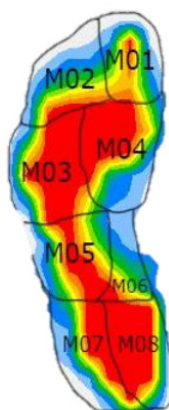
Data antropometrik subjek dibincangkan secara terperinci serta hasil dari temu bual subjek tentang tahap kesakitan pada bahagian bunion. Hasil reka bentuk percetakan 3D pelapik bunion dapat dihasilkan menggunakan perisian AutoCAD Inventor.

DATA SUBJEK TERPILIH

Bagi mereka bentuk alat rehabilitasi untuk kajian ini, maklumat yang diperlukan adalah berat badan dan rupa bentuk kaki agar mendapat acuan yang sesuai bagi memberikan keselesaan semasa menggunakan reka bentuk tersebut. Data antropometrik kaki subjek dicerap menggunakan alatan seperti angkup vernier yang mengira kawasan bunion bagi kaki subjek. Subjek yang dipilih dalam menjayakan kajian ini mempunyai indeks jisim badan (BMI) 24.7 di bawah kategori berat berlebihan (Ruslan, 2022). Subjek adalah seorang lelaki berusia 23 tahun, ketinggian 172 cm dan berat badan 73 kg, Ukuran sudut bunion subjek berada di tahap sederhana pada kawasan morfologi kaki dari garisan (B1-B5) adalah 10.1 cm dan panjang kaki kiri subjek (25.6 cm). Bunion subjek pada kaki kiri berada pada tahap dua dimana boleh melakukan aktiviti harian dan sukan seperti bola sepak, futsal dan sepak takraw pada waktu yang lama (1 jam dan keatas) jika kawasan bunion tersebut tidak diberikan tekanan yang tinggi semasa melakukan aktiviti. Rajah 5 menunjukkan taburan tekanan pada kedua kaki subjek, di mana pada kaki kiri terjadi bunion.



RAJAH 5. Taburan tekanan tapak kaki subjek dari perisian Tactilus Mat

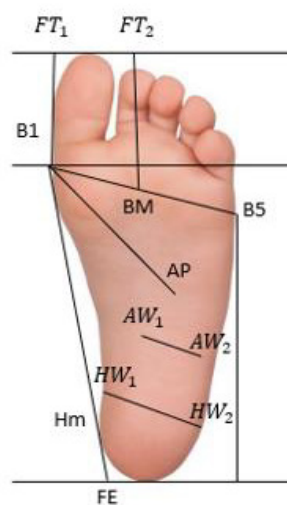


RAJAH 6. Lapan bahagian taburan tekanan pada tapak kaki pesakit

Merujuk Rajah 5 dan Rajah 6 didapati bahagian (M01) dan (M04) pada kaki kiri subjek lebih banyak taburan tekanan berbanding dengan kaki kanan. Berdasarkan sesi temubual, apabila berlaku kesakitan pada bahagian bunion (M01) dan (M04), subjek terpaksa mengurangkan pergerakan yang bagi meredakan kesakitan pada bahagian bunion. Sebagai ahli sukan, kesan hal ini dikatakan sedikit sebanyak menjejaskan prestasi subjek apabila menyertai aktiviti dan akan merosakkan imej subjek jika kesakitan pada bahagian bunion kerap terjadi. Subjek memberitahu berlaku hentakan dan tekanan pada bahagian bunion tersebut mengakibatkan beliau tidak boleh berjalan dan memerlukan rawatan segera supaya dapat melegakan kesakitan tersebut.

DATA UKURAN ANTROPOMETRIK KAKI SUBJEK

Ukuran kaki subjek diukur dengan menggunakan alatan antropometer dan angkup vernier. Data antropometrik bagi kaki subjek diperlukan dalam proses merekabentuk pelapik bunion bagi memberi keselesaan pada bahagian tersebut. Proses pengukuran bentuk kaki subjek diukur berdasarkan Rajah 7 yang mengikut tatacara ukuran yang ditetapkan pada Jadual 1 bagi melengkapkan data antropometrik kaki subjek.



RAJAH 7. Rujukan Ukuran Data Antropometrik Kaki Subjek

JADUAL 1. Data Antropometrik Kaki Subjek

Kawasan kaki	Kaki Kiri
Panjang Kaki (FE-FT)	25.6 cm
Keluasan Bola Kaki	10.12 cm

Menurut kajian, beberapa penyumbang faktor risiko pembentukan bunion adalah umur, lebar tumit dan panjang tapak kaki. (Martin et al. 2023).

REKA BENTUK PELAPIK BUNION

Pelapik bunion dicetak menggunakan bahan TPU, dengan ketumpatan isian 60% manakala bahagian pencantum dicetak dengan ketumpatan isian 70% (Wahid et al. 2024). Reka bentuk bunion direka khas mengikut data ukuran antropometrik kaki subjek. Ketumpatan isian 60% pelapik bunion dengan menggunakan filamen TPU membantu

mengurangkan tekanan dan menjimatkan kos pembuatan. Penggunaan bahan ini secara amnya tidak menyebabkan berlaku kerengsaan atau tindak balas alahan pada kulit subjek. Selain itu, bahan ini dapat dicetak dengan ketepatan tinggi serta permukaan yang halus yang membantu memberi keselesaan kepada subjek.

Selain itu, TPU mempunyai kelembutan yang baik, namun apabila ketumpatan pada bahan TPU untuk pelapik bunion meningkat akan menyebabkan kekerasan bahan bertambah. (Thompson et al. 2020). Bahan ini sering digunakan dalam perubatan kerana keserasian dengan kulit manusia. Semasa pemakaian adalah penting untuk memberi ruang kelegaan agar subjek merasa selesa pada bahagian MTP bagi jari kaki yang terkena. Walaupun ketumpatan

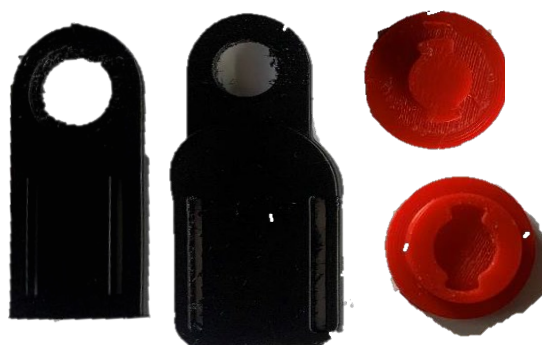
isian pelapik bunion adalah tahap sederhana tetapi perlu dimastikan bahan ini mampu menahan terhadap retakan dan ubahbentuk selepas penggunaan jangka panjang. Selain itu, bahan yang fleksibel dan sokongan yang mencukupi dapat membantu mengurangkan tekanan pada bahagian sendi MTP.

Pengoptimuman topologi adalah satu pendekatan rekebentuk yang digunakan untuk mengurangkan penggunaan bahan dalam struktur dengan mempertimbangkan keadaan beban pada bunion yang ditetapkan dan kekangan yang ditentukan. Dalam hal ini pengoptimuman topologi dibuat bagi penentuan bentuk geometri pelapik bunion yang paling berkesan dalam menghasilkan ciri dan fungsi yang dimahukan (Wu et al. 2021). Jadual 2 menunjukkan berat akhir selepas rekabentuk melalui proses pengoptimuman topologi.

JADUAL 2. Berat Akhir Pelapik Kaki yang siap dicetak

Bahagian reka bentuk pelapik bunion	Jumlah Berat Akhir (g)
Pad Bunion Bahagian (M01)	26
Pad Bunion Bahagian (M04)	49
Penyambung Lapik Bunion	11

Mengikut kajian lepas, secara morfologi, panjang kaki dan lebar kaki bagi lelaki yang obesiti adalah lebih tinggi berbanding dengan lelaki yang mempunyai kurang berat badan, berat badan berlebihan dan berat yang ideal. Selain itu, lelaki yang mengalami obesiti juga mempunyai ukuran lebar kaki, lilitan bola, ketinggian bola, lebar tumit dan lilitan tumit yang lebih tinggi berbanding lelaki yang mempunyai berat badan yang berlebihan dan berat yang ideal (Price & Nester 2016).



RAJAH 8. Komponen pelapik bunion dengan ketumpatan isian 60% yang dihasilkan melalui percetakan 3D.

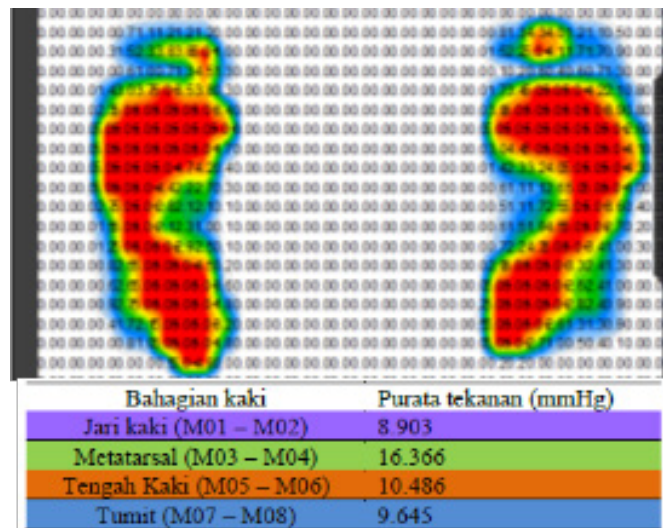


RAJAH 9. Subjek memakai pelapik bunion

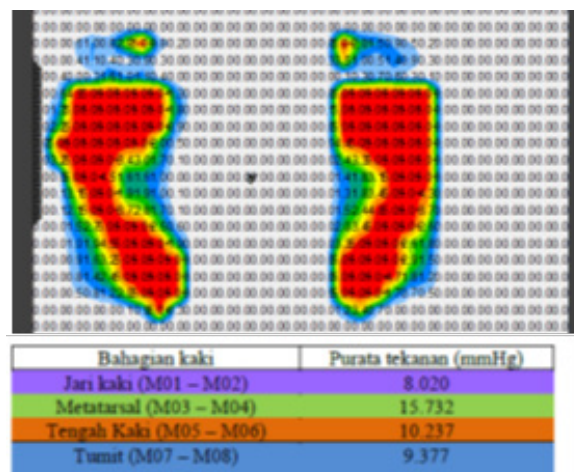
TABURAN DATA TEKANAN KAKI KIRI SUBJEK

Bacaan pada Tactilus Mat merekodkan bacaan tekanan tapak kaki kiri subjek apabila menyentuh permukaan dan memberi data dalam keadaan semasa. Data taburan tekanan

diambil sebelum dan selepas subjek memakai pelapik bunion bagi melihat perubahan tekanan pada bahagian bunion tersebut. Pelapik dalaman yang diperbuat daripada gel silikon dipasangkan untuk menyokong tekanan bunion. Keputusan grafik dan data taburan tekanan sebelum dan selepas kaki subjek dapat dilihat pada Rajah 10 dan Rajah 11.



RAJAH 10. Taburan tekanan kaki subjek tanpa menggunakan pelapik bunion



RAJAH 11. Taburan tekanan kaki subjek semasa menggunakan pelapik bunion

Terdapat perbandingan sebelum dan selepas subjek memakai pelapik bunion yang mempunyai ketumpatan isian 60% dengan purata tekanan kaki kiri subjek tidak memakai pelapik bunion dapat mengurangkan tekanan pada bahagian jari kaki (8.903 mmHG ke 8.020 mmHG) dan pada bahagian metatarsal (16.366 mmHG ke 15.732

mmHG). Untuk peratusan bagi bahagian jari kaki ialah 9.92% manakala pada bahagian metatarsal ialah 3.87%. Selain itu, terdapat pengurangan taburan tekanan pada bahagian tengah kaki dan tumit iaitu 2.37% dan 2.78% masing-masing.

MAKLUM BALAS SUBJEK TERHADAP REKA BENTUK PELAPIK BUNION

Maklum balas diterima setelah subjek melakukan aktiviti harian dan bersukan dengan memakai alat pelapik bunion yang direka dan difabrikasi. Lapisan silikon gel dilekatkan pada pelapik bunion bagi memberi keselesaan dan menyerap tekanan pada bahagian tersebut. Untuk pemasangan, pelapik bunion diikat pada ibu jari dan pada bahagian tengah kaki dengan menggunakan pita velcro bagi memastikan alat itu tidak bergerak ke bahagian lain. Daripada maklumbalas, subjek mendapati pelapik dengan bahan tercetak dari TPU memberi keselesaan, tahan lasak walaupun berlaku hentakan pada alat pelapik bunion semasa pemakaian. Subjek juga berkongsi bahawa beliau dapat merasa perbezaan selepas memakai pelapik bunion iaitu kurang rasa sakit pada bahagian bunion kaki.

KESIMPULAN

Pelapik bunion dengan bahan TPU dan gel silikon telah berjaya direkabentuk dan difabrikasi dengan menggunakan kaedah percetakan 3D. Dalam konteks ini, pelapik bunion yang dihasilkan adalah mengikut keperluan individu kerana direka mengikut saiz kaki dan pembentukan bunion subjek. Pelapik bunion ini boleh diperibadikan agar sesuai dengan bentuk dan saiz kaki mana-mana subjek, memberikan keselesaan dan pelarasan optimum memandangkan morfologi kaki dan pembentukan bunion yang berbeza. Dengan reka bentuk pelapik bunion ini, orang yang mengalami masalah bunion dapat mengurangkan ketidakselesaan yang mereka alami dan mendapat kelegaan semasa melakukan aktiviti harian. Kaedah ini boleh menjadi alternatif yang lebih menjimatkan berbanding pilihan lain seperti penggunaan kasut khas atau pelarasan khas oleh pakar kaki. Dengan menggunakan pad bunion yang direka dengan gel silikon, orang yang mengalami masalah bunion boleh mengurangkan keperluan untuk membeli peralatan atau rawatan yang lebih mahal. Melalui temubual, didapati pelapik menambahkan keselesaan kepada subjek dan mampu mengurangkan tekanan pada bunion subjek.

Bagaimanapun, dalam perbualan dengan subjek, didapati pelapik bunion ini tidak statik apabila dipakai bersama kasut. Subjek akan merasa kurang selesa jika pelapik bunion ini dipakai pada waktu yang lama, terutama jika dibandingkan dengan alat lain yang memiliki reka bentuk terbuat dari kain, seperti stoking. Oleh itu, subjek perlu sering membetulkan posisi pelapik bunion agar sesuai dengan kenyamanan mereka. Hal-hal ini boleh dipertimbangkan untuk ditangani dalam kajian pada masa akan datang.

PENGHARGAAN

Penulis berbesar hati dan menghargai Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Universiti Kebangsaan Malaysia atas sumbangan kewangan dan peralatan makmal bagi menjayakan kajian ini.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Ghazali, M. J., Ren, X., Rajabi, A., Zamri, W. F. H. W. Mohd Mustafah, N. & Ni, J. 2021. Finite element analysis of cushioned diabetic footwear using ethylene vinyl acetate polymer. *Polymers* 13(14): 2261.
- Heineman, N., Liu, G., Pacicco, T., Dessouky, R., Wukich, D. K. & Chhabra, A. 2020. Clinical and imaging assessment and treatment of hallux valgus. *Acta Radiologica* 61(1):56-66.
- Karacan, K. & Erdoğan, M. 2020. Evaluation of hallux valgus deformity among medical student: A cross-sectional study. *International Journal of Academic Medicine and Pharmacy* 2(3): 278-283.
- Katsui, R., Samoto, N., Akahane, M., Isomoto, S., Sugimoto, K. & Tanaka, Y. 2016. Relationship between displacement and degenerative changes of the sesamoids in hallux valgus. *Foot & Ankle International* 37(12): 1-7.
- Khamis, N. K., Tee, N. C., Mat Tahir, M. F. & Sabri, N. 2019. Pattern of pressure distribution on the car seat under static condition and its relationship with driving posture. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 8(12): 2278-3075.
- Knörr, J., Soldado, F., Violas, P., Sánchez, M., Doménech, P. & de Gauzy, J. S. 2022. Treatment of hallux valgus in children and adolescents. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 108(1): 103168,
- Lewis, T. L., Ray, R. & Gordon, D. J. 2022. The impact of hallux valgus on function and quality of life in females, *Foot and Ankle Surgery* 28(4): 424-430.
- Li, X., Zhang, J., Fu, S., Wang, C., Yang, F. & Shi, Z. 2023. First metatarsal single-screw minimally invasive chevron-akin osteotomy: A cost effective and clinically reliable technique. *Frontiers in Surgery* 9: 1047168.
- Lima, A. L. G. D. M., Costa, S., Costa, N., Leão, C. P., Moraes, A. S., Carvalho, M., ... & Duarte, F. 2023. Ergonomics Applied to the Development

- and Evaluation of Insoles for Protective Footwear. *Applied Sciences* 13(10): 6207.
- Martín-Casado, L., Aldana-Caballero, A., Barquín, C., Criado-Álvarez, J. J., Polonio-López, B. & Marcos-Tejedor, F. 2023. Foot morphology as a predictor of hallux valgus development in children. *Scientific Reports* 13(1): 9351.
- Mat Tahir, M. F., Khamis, N. K., Sabri, N., Noor Hasani, N. Z. & Abd Wahab, D. 2020. Relationship between driver's dynamic pressure distribution with their anthropometric variables on car seat under paved road. *International Journal of Integrated Engineering* 12(5): 55-61.
- Menzildzic, S., Chaudhry, N. & Petryschuk, C. 2021. Using Manchester scale classification of hallux valgus as a valuable tool in determining appropriate risk categorization during initial diabetic foot screening in primary health care settings. *The Foot* 47: 101810.
- Othman, S. A. T., Azman, A. A., Wahid, Z. & Azman, M. A. 2024. Reverse engineering of brake calliper design via integration of topology optimisation and lattice structure for additive manufacturing. *Jurnal Kejuruteraan* 36(2): 439-446.
- Phelps, C. R., Shepard, S., Hughes, G., Gurule, J., Scott, J., Raszewski, J., ... & Vassar, M. 2023. Insights into patients questions over bunion treatments: A Google study. *Foot & Ankle Orthopaedics*. 8(3): 24730114231198837.
- Price, C. & Nester, C. Foot dimensions and morphology in healthy weight, overweight and obese males. 2016. *Clinical Biomechanics* 37: 125-130.
- Ruslan, N. A. 2022. Fabrikasi Pelapik kaki sebagai alat rehabilitasi untuk golongan obesiti menggunakan teknologi pembuatan tambahan. Tesis ijazah Doktor Flasafah, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Singh, S., & Mali, H. S. 2023. 3D printed orthotic insoles for foot rehabilitation. *3D Printing in Podiatric Medicine*: 211-219.
- Thompson, D., Albarki, H., Lodhia, C. & Fitzpatrick, N. 2020. A 3D printed smartphone adaptor for nasolaryngoscopy. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology* 5(1): 31-36.
- Vila, J. & Pique-Vidal, C. 2009. A geometric analysis of hallux valgus: Correlation with clinical. *Journal of Foot and Ankle Research* 2(15): 1-8.
- Wahid, Z., Mat Tahir, M. F., Dwisatrya, L. H. H., Khamis, N. K., Ahmad, M. A. F & Nuawi, M. Z. 2024. 3D printed nature pattern metastructure for the sound absorption coefficient. *Journal of Physics: Conference Series* 2721(1): 012013.
- Wu, J., Ole, S. & Jeroen P., G. 2021. Topology optimization of multi-scale structures: A review. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 63(3): 197-224.
- Yamamoto, T., Hoshino, Y., Kanzaki, N., Nukuto, K., Yamashita, T., Ibaraki, K., Nagamune, K., Nagai, K., Araki, D., Matsushita, T. & Kuroda, R. 2020. Plantar pressure sensors indicate women to have a significantly higher peak pressure on the hallux, toes, forefoot, and medial of the foot compared to men. *Journal of Foot and Ankle Research* 13(1):1-7.