

PENGARUH VARIASI KETINGGIAN HAK SEPATU TERHADAP PENGURANGAN TEKANAN DI TELAPAK KAKI BELAKANG

Azhar Azzyumardi Pasha¹, Dwi Basuki Wibowo², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: azharp21@gmail.com

Abstrak

Sepatu hak tinggi adalah jenis sepatu dimana tinggi bagian tumit sepatu lebih tinggi dari pada bagian jari kaki. Salah satu ketidaknyamanan ketika memakai sepatu hak tinggi adalah gaya benturan yang dihasilkan pada saat tumit menghentak landasan (*heel strike*), benturan tersebut tidak hanya berdampak pada telapak kaki (*plantar*) namun merambat ke seluruh area kaki hingga tulang belakang. Proses tekanan pada *plantar* dapat di pindai dengan sistem pemindaian (*scanning*). Untuk mengetahui perubahan distribusi beban di telapak kaki pada berbagai variasi ketinggian hak sepatu dapat dilakukan dengan cara memasang 9 sensor Force Sensing Resistor (FSR 400 produk *Interlink Electronics*) pada mika berbentuk mengikuti pola alas sepatu bagian depan (*metatarsal*) dan belakang (*heel*) lalu diletakkan di atas permukaan alas sepatu hak tinggi. Pengujian dilakukan terhadap 4 subjek dengan berdiri di atas *wedges* yang terpasang sensor dan memiliki varisasi ketinggian hak yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm. Penurunan tekanan terbesar terdapat di area *heel* pada subjek 4 ketika dilakukan pengujian di variasi ketinggian hak 6 cm pada sensor 1 sebesar 262.09 Pa dan kenaikan tekanan terbesar terdapat di area *metatarsal* pada subjek 4 di variasi ketinggian hak 6 cm pada sensor 6 sebesar 100.19 Pa. Hasil distribusi tekanan tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik fungsi dari kaki manusia.

Kata kunci: *force sensing resistor; heel strike; sistem pemindaian; tekanan plantar*

Abstract

High heels are a type of shoe where the heel is higher than the toes. One of the inconveniences when wearing high heels is the impact force generated when the heel strikes the ground (heel strike), the impact not only affects the sole of the foot (plantar) but propagates throughout the foot area to the spine. The pressure process on the plantar can be scanned with a scanning system. To find out changes in the distribution of the load on the sole of the foot at various heights of the heel, this can be done by installing 9 Force Sensing Resistors (FSR 400 Interlink Electronics products) on the mica in the form of following the pattern of the front (metatarsal) and rear (heel) shoes then placed on the surface of the high heels. The test was carried out on 4 subjects standing on wedges with sensors attached and varying the height of the right, namely 2 cm, 4 cm and 6 cm. The largest pressure drop was found in the heel area of subject 4 when tested at 6 cm heel height variations on sensor 1 of 262.09 Pa and the largest pressure increase was in the metatarsal area of subject 4 at 6 cm heel height variations on sensor 6 of 100.19 Pa. The results of the pressure distribution can be used to identify the functional characteristics of the human foot.

Keywords: *force sensing resistor; heel strike; plantar pressure; scan system*

1. Pendahuluan

Sepatu hak tinggi (*high heels*) menjadi simbol kuat seksualitas wanita modern untuk meningkatkan daya tarik wanita terhadap pria [1]. Seperti yang dinyatakan dalam artikel Caroline M. Speaksnijder's, 83% wanita berusia 50-70 tahun mengalami masalah pada kaki mereka ketika memakai sepatu hak tinggi [2]. Salah satu ketidaknyamanan ketika memakai sepatu hak tinggi adalah gaya benturan yang dihasilkan pada saat tumit menghentak landasan (*heel strike*) [3].

Kontak *plantar* bertemu dengan landasan membuat yang memicu munculnya tekanan di wilayah tertentu. Tekanan *plantar* tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik fungsi kaki [4]. Proses tekanan pada *plantar* dapat di pindai dengan sistem pemindaian (*scanning*). Representasi citra warna (*color grading image*) yang menyatakan beban atau deformasi sebagai hasil pemindaian dapat ditemukan pada perangkat lunak (*software*) metode elemen hingga (MEH) pada analisis pemodelan struktur atau komponen mesin yang dibebani [5].

Untuk mengetahui perubahan distribusi beban di telapak kaki pada berbagai variasi ketinggian hak sepatu dapat dilakukan dengan cara memasang 10 sensor FSR 420 (*Force Sensing Resistor* produk *Interlink Electronics*) pada

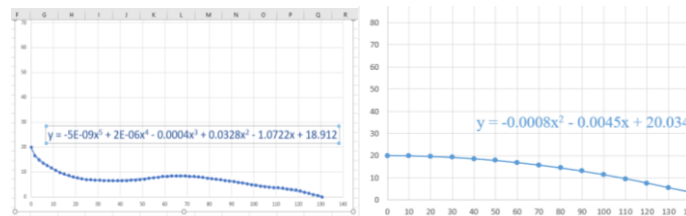
stocking nilon [6]. Perbedaannya adalah pada penelitian ini penulis memposisikan 9 sensor 400 di area *heel* dan *metatarsal* dengan panel mika yang diletakkan diatas sepatu hak tinggi [7].

2. Metode Penelitian

Pada pengujian ini menggunakan ukuran sepatu standar Indonesia dengan ukuran 38 dan 40. Tipe *high heel* yang digunakan merupakan tipe *wedges* kayu, *Wedges* berjumlah 3 pasang untuk masing-masing ukuran dengan variasi ketinggian hak (*heel height*) 2 cm, 4 cm dan 6 cm. Hasil *Scan 3D* berupa kontur telapak kaki terhadap salah satu subjek menunjukkan fungsi kurva polinomial yang dapat membantu perancangan prototipe *wedges* pada desain kenaikan permukaan alas.

2.1 Kurva Ketinggian High Heel

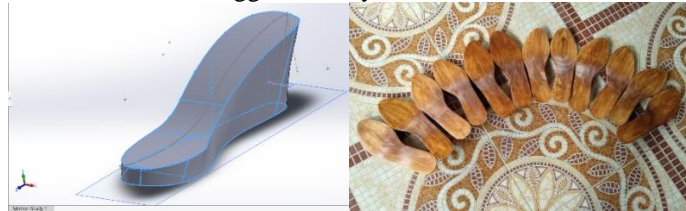
Pengukuran dan perhitungan kurva dilakukan dengan menggunakan alat bantu *3D Scan* dan software *Rhinceros* 2016. Berikut hasil pengukuran telapak kaki dengan ukuran sepatu 38 dengan panjang kaki (FL) 22 cm (Gambar 3.1). Pembagian area telapak kaki menurut metode Lee Yung-Hui yaitu *heel* (0-31% FL), *arch* (31-58% FL) dan *metatarsal* (58-100% FL), dimana kenaikan telapak kaki terdapat pada area *heel* dan *arch* (0-58% FL) sebagai kurva fungsi polinomial [8].



Gambar 1. Kurva Telapak Kaki dan Kurva *Wedges* Ketinggin 2 cm

2.2 Desain Hardware Alat Pengujian

Nilai ketinggian hak atau *heel* pada sepatu *wedges* diukur dari tinggi permukaan alas, jika tinggi bagian depan 2 cm dan total tinggi *wedges* 6 cm maka nilai ketinggian hak-nya adalah 4 cm.



Gambar 2. Desain *Wedges* Kayu

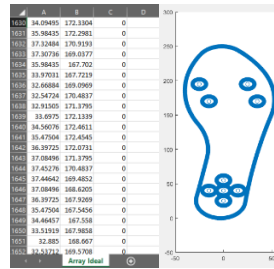
Pada permukaan alas sepatu bagian kanan dilapisi karet silikon dengan ketebalan 1 mm. Media *casing* berupa kotak kayu dibuat untuk melindungi rangkaian elektronik berupa Arduino dan pcb, serta selang karet berdiameter 1 cm untuk melindungi jaringan kabel.



Gambar 3. Rangkaian Alat Pengujian

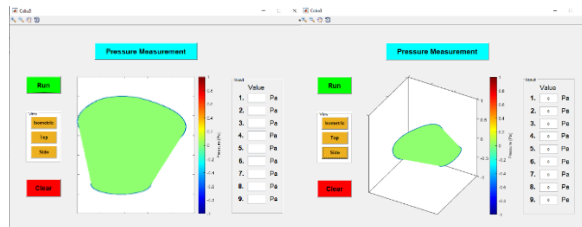
2.3 Desain Software Alat Pengujian

Perlunya analisis data dilakukan dengan perangkat lunak Matlab, langkah awal membuat pola gambar berupa titik yang disesuaikan dengan peletakan sensor dan batas permukaan alas sepatu yang menggunakan *Solidwork* 2015. Data tersebut akan ditanamkan dalam program di Matlab. Hasil dari penanaman data akan membentuk gambar visual 2D telapak kaki. Distribusi tekanan yang diperoleh dari alat pengukur gaya berupa gradasi warna yang berada di dalam batas permukaan alas sepatu.



Gambar 4. Array Koordinat Sensor dan Batas Permukaan Alas Wedges

Dalam teknologi komputasi, *graphical user interface* (GUI) adalah jenis antarmuka pengguna yang menggunakan metode interaksi pada peranti elektronik secara grafis (bukan perintah teks) antara pengguna dan computer [9]. Untuk penelitian ini GUI dibuat menggunakan aplikasi *matlab* 2018a yang menampilkan interaksi grafik dan nilai tekanan pada masing-masing sensor. Ketika GUI dijalankan maka data berupa koordinat dan hasil distribusi tekanan pada tiap sensor akan langsung tersimpan dalam bentuk tabel di *Excel*.



Gambar 5. Tampilan antarmuka aplikasi rekam distribusi tekanan telapak kaki

3. Hasil dan pembahasan

Albon melakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh menaikkan hak sepatu terhadap rasa nyeri yang timbul setelah 1 jam pemakaian, hasil yang diperoleh menunjukkan menggunakan hak sepatu tinggi dapat menggeser beban telapak kaki ke depan (*third metatarsal* dan *hallux*) [10]. Pada penelitian ini, Data yang dihasilkan yaitu *output display* berupa hasil distribusi tekanan pada tiap sensor yang terpasang di area *heel* dan *metatarsal* telapak kaki.

3.1 Data Subjek Pengujian

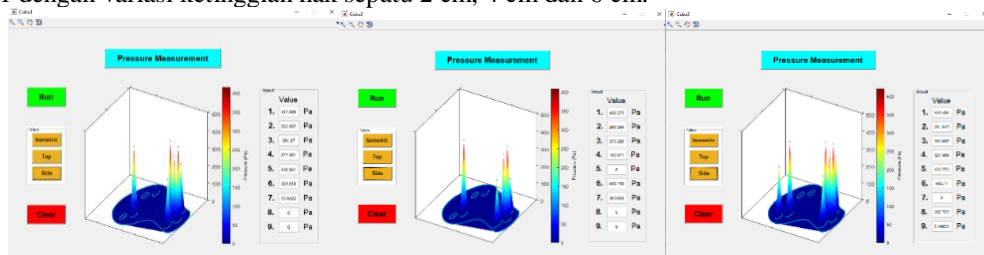
Data berupa informasi tiap individu dapat digunakan untuk menganalisis hasil distribusi tekanan pada telapak kaki.

Tabel 1. Data Subjek

Nama	Umur	Berat Badan (kg)	Tinggi Badan (cm)	Ukuran Sepatu	Indeks Massa Tubuh
Subjek 1	21 tahun	54.2 kg	160 cm	40	21.1
Subjek 2	21 tahun	45 kg	160 cm	38	17.6
Subjek 3	21 tahun	68 kg	157 cm	40	27.6
Subjek 4	21 tahun	47.1 kg	156 cm	38	19.3

3.2 Hasil Pengujian Alat

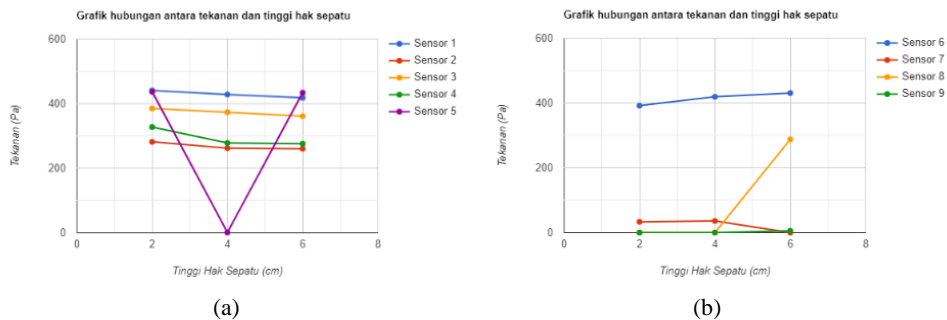
- Subjek 1 dengan variasi ketinggian hak sepatu 2 cm, 4 cm dan 6 cm.



Gambar 6. Hasil Pengujian Subjek 1

Tabel 2. Hasil Distribusi Tekanan Subjek 1

Nama	Tekanan (Pa)		
	Heel Height 2 cm	Heel Height 4 cm	Heel Height 6 cm
Data 1	440.494	428.275	417.889
Data 2	281.641	262.097	260.264
Data 3	384.897	373.289	361.07
Data 4	327.486	277.981	275.671
Data 5	436.661	0	433.773
Data 6	391.618	419.11	430.718
Data 7	33.3022	36.045	0
Data 8	0	0	287.757
Data 9	0	0	5.49853



Gambar 7. Grafik Hubungan Tekanan dan Tinggi Hak Sepatu di Area (a) *Heel* dan (b) *Metatarsal* Subjek 1

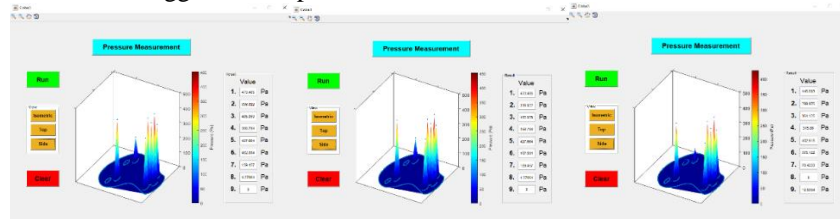
Tabel 3. Perubahan Distribusi Tekanan Subjek 1

No. Sensor	$\Delta P1$ (Pa)	%	$\Delta P2$ (Pa)	%	Rata-rata ΔP	%
1	-12.219	2.77	-10.386	2.43	11.3025	2.57
2	-19.544	6.94	-1.833	0.7	10.6885	3.8
3	-11.608	3.02	-12.219	3.27	11.9135	3.1
4	-49.505	15.1	-2.31	0.83	25.9075	7.91
5	-436.661	-	433.773	-	2.89	0.67
6	27.492	7.02	11.608	2.77	19.55	4.992
7	2.7428	8.24	-	-	2.7428	8.24
8	-	-	287.757	-	-	-
9	-	-	5.49853	-	-	-

Berdasarkan Grafik 7 dan Tabel 3, Terdapat perubahan nilai sensor secara signifikan pada saat dilakukan pengujian dengan variasi ketinggian hak sepatu sebagai berikut :

1. Nilai tekanan di sensor 2 (*heel*) mengalami penurunan terkecil pada saat kenaikan *heel height* dari 4 cm ke 6 cm sebesar 1.83 Pa yaitu 0.7%.
2. Nilai tekanan di sensor 4 (*heel*) mengalami penurunan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 49.5 Pa yaitu 15.1%.

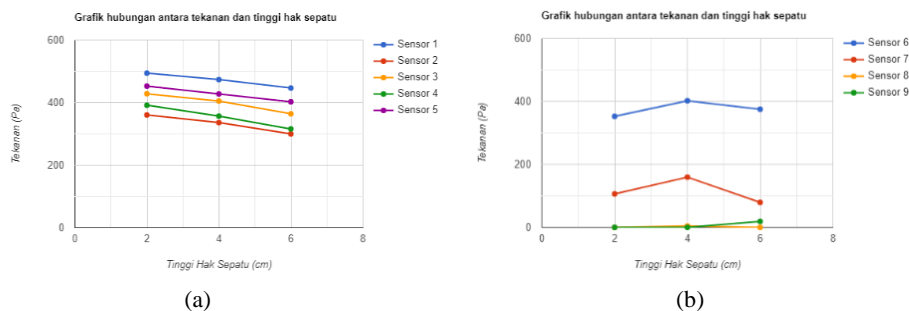
- Subjek 2 dengan variasi ketinggian hak sepatu 2 cm, 4 cm dan 6 cm.



Gambar 8. Hasil Pengujian Subjek 2

Tabel 4. Hasil Distribusi Tekanan Subjek 2

Nama	Tekanan (Pa)		
	Heel Height 2 cm	Heel Height 4 cm	Heel Height 6 cm
Data 1	494.257087	473.4848485	446.6031281
Data 2	360.459433	336.0215054	299.9755621
Data 3	428.2746823	405.058651	364.1251222
Data 4	391.6177908	356.7937439	315.8602151
Data 5	452.71261	427.6637341	402.6148583
Data 6	352.5171065	402.0039101	375.1221896
Data 7	106.3049853	159.457478	79.42326491
Data 8	0	4.276637341	0
Data 9	0	0	18.93939394



Gambar 9. Grafik Hubungan Tekanan dan Tinggi Hak Sepatu di Area (a) Heel dan (b) Metatarsal Subjek 2

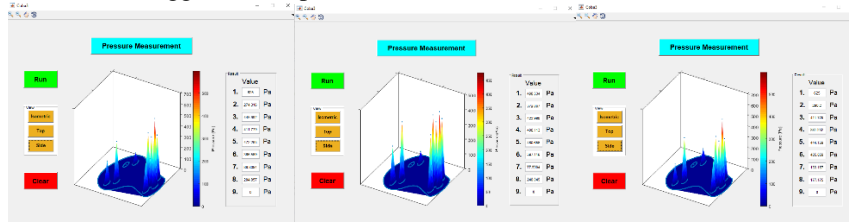
Tabel 5. Perubahan Distribusi Tekanan Subjek 2

No. Sensor	$\Delta P1$ (Pa)	%	$\Delta P2$ (Pa)	%	Rata-rata ΔP	%
1	-20.77224	4.2	-26.8817204	5.68	-23.8269795	4.82
2	-24.43793	6.78	-36.0459433	10.7	-30.2419355	8.39
3	-23.21603	5.42	-40.9335288	10.1	-32.0747801	7.49
4	-34.82405	8.89	-40.9335288	11.5	-37.8787879	9.67
5	-25.04888	5.53	-25.0488758	5.86	-25.0488759	5.53
6	49.486804	14	-26.8817205	6.69	11.30254155	3.206
7	53.152493	50	-80.0342131	50.2	-13.4408602	-12.6
8	4.2766373	-	-4.27663734	-	0	0
9	-	-	18.93939394	-	-	-

Berdasarkan Grafik 9 dan Tabel 5, Terdapat perubahan nilai sensor secara signifikan pada saat dilakukan pengujian dengan variasi ketinggian hak sepatu sebagai berikut :

1. Nilai tekanan di sensor 1 (*heel*) mengalami penurunan terkecil pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 20.77 Pa yaitu 4.2%.

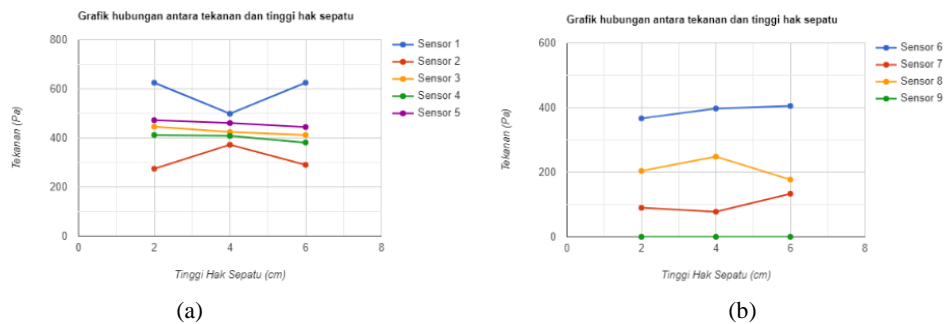
2. Nilai tekanan di sensor 4 (*heel*) mengalami penurunan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 4 cm ke 6 cm sebesar 40.93 Pa yaitu 11.5%.
 3. Nilai tekanan di sensor 7 (*metatarsal*) mengalami kenaikan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 53.15 Pa yaitu 50%.
- Subjek 3 dengan variasi ketinggian hak sepatu 2 cm, 4 cm dan 6 cm.



Gambar 10. Hasil Pengujian Subjek 3

Tabel 6. Hasil Distribusi Tekanan Subjek 3

Nama	Tekanan (Pa)		
	Heel Height 2 cm	Heel Height 4 cm	Heel Height 6 cm
Data 1	625	498.5337243	625
Data 2	274.315738	372.0674487	290.200391
Data 3	445.9921799	423.998045	411.7790811
Data 4	411.7790811	408.113392	381.2316716
Data 5	472.2629521	460.6549365	444.1593353
Data 6	366.568915	397.1163245	405.058651
Data 7	89.80938416	77.59042033	133.1867058
Data 8	204.056696	248.0449658	177.1749756
Data 9	0	0	0



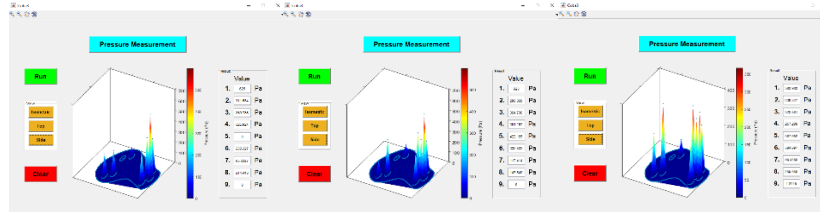
Gambar 11. Grafik Hubungan Tekanan dan Tinggi Hak Sepatu di Area (a) *Heel* dan (b) *Metatarsal* Subjek 3

Tabel 7. Perubahan Distribusi Tekanan Subjek 3

No. Sensor	$\Delta P1$ (Pa)	%	$\Delta P2$ (Pa)	%	Rata-rata ΔP	%
1	-126.4663	20.2	126.4662757	25.37	0	0
2	97.751711	35.6	-81.8670577	-22	7.9423265	2.895
3	-21.99413	4.93	-12.2189639	2.88	-17.1065494	3.84
4	-3.665689	0.89	-26.8817204	6.59	-15.2737048	3.71
5	-11.60802	2.46	-16.4956012	3.58	-14.0518084	2.98
6	30.54741	8.33	7.9423265	2	19.244868	5.25
7	-12.21896	13.6	55.59628547	71.65	21.68866082	24.15
8	43.98827	21.6	-70.8699902	28.6	-13.4408602	6.59
9	0	-	0	-	0	-

Berdasarkan Tabel 7, Terdapat perubahan nilai sensor secara signifikan pada saat dilakukan pengujian dengan variasi ketinggian hak sepatu sebagai berikut :

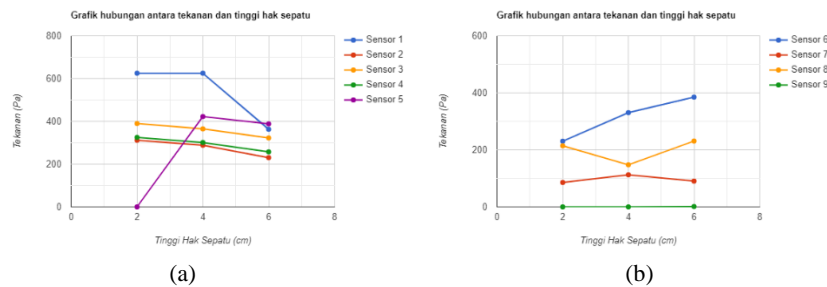
1. Nilai tekanan di sensor 1 (*heel*) mengalami penurunan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 126.47 Pa yaitu -20.2%.
2. Nilai tekanan di sensor 4 (*heel*) mengalami penurunan terkecil pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 3.67 Pa yaitu 0.89%.
3. Nilai tekanan di sensor 7 (*metatarsal*) mengalami kenaikan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 4 cm ke 6 cm sebesar 55.59 Pa yaitu 71.65%.
- Subjek 4 dengan variasi ketinggian hak sepatu 2 cm, 4 cm dan 6 cm.



Gambar 12. Hasil Pengujian Subjek 4

Tabel 8. Hasil Distribusi Tekanan Subjek 4

Nama	Tekanan (Pa)		
	Heel Height 2 cm	Heel Height 4 cm	Heel Height 6 cm
Data 1	625	625	362.9032258
Data 2	311.5835777	288.3675464	230.3274682
Data 3	389.7849462	364.7360704	322.5806452
Data 4	325.0244379	301.1974585	257.2091887
Data 5	0	422.1652004	387.9521017
Data 6	230.3274682	330.5229717	384.8973607
Data 7	85.53274682	112.4144673	90.42033236
Data 8	214.4428152	147.8494624	230.9384164
Data 9	0	0	1.221896383



Gambar 13. Grafik Hubungan Tekanan dan Tinggi Hak Sepatu di Area (a) *Heel* dan (b) *Metatarsal* Subjek 4

Tabel 9. Perubahan Distribusi Tekanan Subjek 4

No. Sensor	$\Delta P1$ (Pa)	%	$\Delta P2$ (Pa)	%	Rata-rata ΔP	%
1	0	0	-262.096774	41.9	-131.048387	21
2	-23.21603	7.45	-58.0400782	20.1	-40.6280548	13
3	-25.04888	6.43	-42.1554252	11.6	-33.6021505	8.62
4	-23.82698	7.33	-43.9882698	14.6	-33.9076246	10.4
5	422.1652	-	-34.2130987	8.1	193.9760509	-
6	100.1955	43.5	54.374389	16.45	77.28494625	33.55
7	26.88172	31.4	-21.9941349	19.6	2.44379277	2.857
8	-66.59335	31.1	83.088954	56.2	8.2478006	3.846
9	0	-	1.221896383	-	0.610948192	-

Berdasarkan Tabel 7, Terdapat perubahan nilai sensor secara signifikan pada saat dilakukan pengujian dengan variasi ketinggian hak sepatu sebagai berikut :

1. Nilai tekanan di sensor 1 (*heel*) mengalami penurunan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 4 cm ke 6 cm sebesar 262.09 Pa yaitu 41.9%.
2. Nilai tekanan di sensor 3 (*heel*) mengalami penurunan terkecil pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 25.05 Pa yaitu 6.43%.
3. Nilai tekanan di sensor 6 (*metatarsal*) mengalami kenaikan terbesar pada saat kenaikan *heel height* dari 2 cm ke 4 cm sebesar 100.19 Pa yaitu 43.5%.

4. Kesimpulan

Sesuai dengan kajian penelitian sebelumnya yaitu terdapat pergeseran tekanan pada telapak kaki bagian belakang (tumit) ketika memakai *high heel* dengan ketinggian hak yang lebih tinggi. Hasil pengujian alat menunjukkan rata-rata penurunan tekanan di area *heel* dan kenaikan tekanan di area *metatarsal*.

Penurunan tekanan terbesar terdapat di area *heel* pada Subjek 4 ketika dilakukan pengujian alat di variasi ketinggian hak 6 cm pada sensor 1 sebesar 262.09 Pa dan kenaikan tekanan terbesar terdapat di area *metatarsal* pada subjek 4 di variasi ketinggian hak 6 cm pada sensor 6 sebesar 100.19 Pa.

5. Daftar Pustaka

- [1] Wulan, A.J., Rahayu, A., 2016, "Risiko Pemakaian Sepatu Hak Tinggi bagi Kesehatan Tungkai Bawah". Majority: Volume 5 No 3.
- [2] Caroline M. Speksnigder, Rieny J.H. vd Munckhof, Sjors A.F.C.M Moonen, Geert H.I.M Walenkamp., 2005, "The higher the heel the forefoot-pressure in ten healthy women". *The Foot*, 15, 17-21.
- [3] Yung-Hui, L., Wei-Hsien, H., 2005, "Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking". *Applied ergonomics*, 36(3), pp.355-362.
- [4] Phethean, J., Nester, C., 2012, "The influence of body weight, body mass index and gender on plantar pressures: Results of a cross-sectional study of healthy children's feet". *Gait & Posture* 36. 287–290.
- [5] Wibowo, D.B., Widodo, A., Haryadi, G.D., dkk., 2017, "Effects of Different Heel Heights on Heel Pressure Distribution for Calcaneal Spur Patients During Standing: Finite Element Analysis". *2nd International Joint Conference on Advance Engineering and Technology (IJCAET) 2017*. Sanur Bali, 24-26 August 2017.
- [6] Albon, T., 2011, "Plantar force distribution for increasing heel height within women's shoes". *Physics Department, The College of Wooster, Wooster, Ohio*.
- [7] Interlink Electronics. FSR Force Sensing Resistor – Integration Guide and Evaluation Parts Catalog. 400 Series Evaluation Parts with Suggested Electrical Interfaces, 546 Flynn Road, Camarillo, CA 93012
- [8] Wibowo, D.B. Haryadi, G.D., Suprihanto, A., 2016, "Estimation of Foot Pressure from Human Footprint Depths Using 3D Scanner". *AIP Conference Proceedings*, ISBN: 978-0-7354-1365-8, Vol. 1717, doi: 10.1063/1.4943451.
- [9] Pitie F., Kokaram, A. C., Dahyot, R., 2007, "Automated colour grading using colour distribution transfer". 107, 123–137; doi.org/10.1016/j.cvi.
- [10] Wibowo, D.B, 2018, "Pengukuran Distribusi Beban Telapak Kaki Manusia Saat Berdiri Tegak Menggunakan Sensor FSR 402". *Jurnal Teknik Mesin ROTASI – Vol. 20, No. 1*.