



**DISAIN TANGGA ERGONOMIS DI DESTINASI WISATA GUNUNG IRENG
DESA PENGKOK KAPANEWON PATUK KABUPATEN GUNUNGKIDUL,
BERDASARKAN ANALISIS BIOMEKANIKA**

Suhartono¹, Sri Mulyaningsih²

*Universitas Widya Mataram Yogyakarta¹
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta²
sharjosaputro7@gmail.com¹*

Info Artikel :

Diterima : 13 Januari 2022

Disetujui : 18 Januari 2022

Dipublikasikan : 28 Januari 2022

ABSTRAK

Wisata alam dengan konsep konservasi memiliki tempat tersendiri bagi wisatawan experience leisure. Kini, banyak wisata alam yang membutuhkan fasilitas lebih, seperti tangga, untuk menjamin wisatawan lebih nyaman dan aman dalam beraktivitas. Gunung Ireng adalah salah satu destinasi wisata alam yang menawarkan atraksi geowisata, spot foto, telusur jejak sejarah dan budaya, serta sun rise. Untuk mencapai destinasi, pengunjung harus menaiki tangga dalam beberapa segmen. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain tangga ergonomis yang aman dan nyaman bagi pengunjung. Model yang dilakukan penelitian adalah tangga masuk Gunung Ireng, tangga di area puncak, dan tangga di destinasi geowisata. Pendekatan yang digunakan adalah antropometri-biomekanika. Data diambil dari 10 responden pengunjung Gunung Ireng, terdiri atas 3 wanita berusia 20-27 tahun, 3 pria berusia 20-30 tahun, 2 wanita berusia >40 tahun, dan 2 pria berusia >40 tahun. Data yang digunakan adalah tinggi dan berat badan, denyut jantung dan saturasi oksigen sebelum dan setelah menaiki tangga. Hasil analisis menjumpai tangga pintu masuk adalah yang paling kecil nilai konsumsi energinya, yaitu 267 kkal/menit, sehingga digunakan sebagai model dalam desain-desain tangga yang lain. Hasil sintesis data adalah untuk mendapatkan nilai konsumsi energi serupa, diperlukan penambahan 2cm tangga dengan segmen tangga dikurangi 3°. Tangga tersebut harus mengakomodasi waktu aktivitas 1,9 menit dan waktu istirahat setelahnya 0,83 menit per segmen tangga.

Kata Kunci :
*desain, tangga,
ergonomis,
destinasi, dan
wisata alam*

ABSTRACT

Keywords :
*design, stairs,
ergonomics,
destinations and
nature*

Natural tourism with the concept of conservation has its own place for experience lease tourists. Now, many natural attractions require more facilities, such as stairs, to ensure tourists are more comfortable and safe in their activities. Gunung Ireng is a natural tourist destination that offers geotourism attractions, photo spots, historical and cultural trails, and sun rises. To reach the destination, visitors must climb stairs in several segments. This study aims

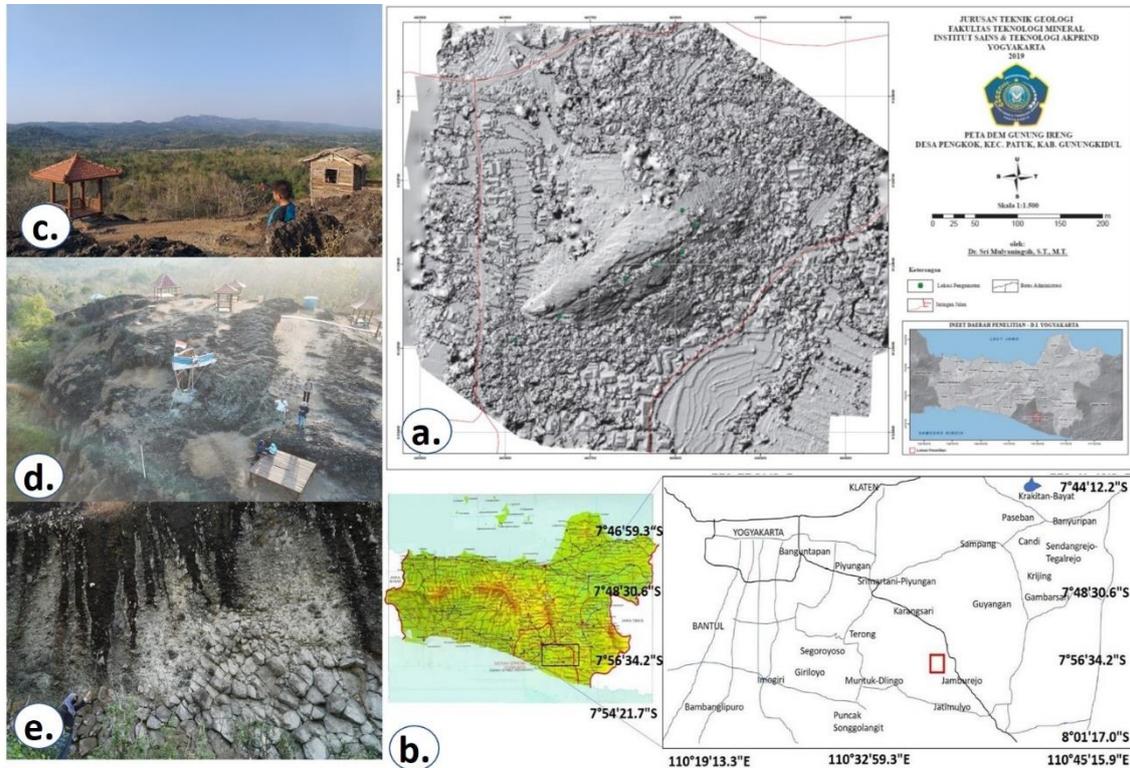
to design an ergonomic staircase that is safe and comfortable for visitors. The research model is the stairs to enter Gunung Ireng, the stairs at the peak area, and the stairs at geotourism destinations. The approach used is anthropometric-biomechanics. Data were taken from 10 respondents who visited Gunung Ireng, consisting of 3 women aged 20-27 years, 3 men aged 20-30 years, 2 women aged >40 years, and 2 men aged >40 years. The data used are height and weight, heart rate and oxygen saturation before and after climbing stairs. The results of the analysis found that the entrance staircase has the lowest energy consumption value, which is 267 kcal/minute, so it is used as a model in other staircase designs. The result of data synthesis is to get a similar energy consumption value, it is necessary to add 2cm of stairs with the ladder segment minus 3°. The ladder must accommodate 1.9 minutes of activity time and 0.83 minutes of rest time thereafter per stair segment..

PENDAHULUAN

Konsep pariwisata "storynomic" dewasa ini menjadi bagian yang tak-terpisahkan untuk menjelaskan keragaman dan hubungannya dengan upaya konservasi bumi, hayati, dan budaya (Mulyaningsih dkk., 2021a). Pengunjung tentunya akan lebih lama berada di dayatarik, dengan jarak jangkauan yang lebih luas. Gunung Ireng memiliki morfologi alamiah yang berbentuk kubah yang berada di dalam cekungan melingkar juga (Gambar 1.a); terletak di Dusun Srumbung, kalurahan Pengkok, Kapanewon Patuk, Kabupaten Gunungkidul, sekitar 22km ke arah tenggara dari kota Yogyakarta, dan dapat ditempuh dengan berbagai macam kendaraan (Gambar 1.b). Atraksi unggulan yang ditawarkan adalah geowisata gunung api purba bawah laut berumur Tersier, spot foto, wisata budaya, dan *sunrise* (Gambar 1.c-e). Untuk menyelesaikan jelajah alam tersebut, diperlukan waktu penelusuran ~2jam dengan geomorfologi perbukitan yang bergelombang sedang-kuat (Mulyaningsih dkk., 2020). Dari sisi geowisata, Gunung Ireng sendiri adalah salah satu upaya dalam konservasi salah satu geoheritage miniature gunung api yang dimiliki Gunung Sewu UNESCO Global Geopark (UGG) yang mampu mengedukasi pengunjung dalam hal konservasi, peningkatan ekonomi masyarakat local, dan perlindungan *cultural heritage* jejak langkah dakwah Sunan Kalijogo (Mulyaningsih et al., 2021). Morfologi kubah tersebut disusun oleh batuan gunung api beraneka macam, yaitu intrusi andesit, lava berstruktur blocky bersusunan andesit, agglomerat, breksi lapilli, dan breksi vulkanik; Mulyaningsih dkk. (2019) mengidentifikasinya sebagai kubah lava gunung api purba yang berada di bawah laut. Sedangkan cekungan melingkar yang melingkupinya diinterpretasi sebagai kaldera gunung api sebelumnya. Keragaman kompleks destinasi wisata ini, tentunya akan semakin membuat Gunung Ireng makin favorit di masa yang akan datang. Untuk itu diperlukan desain tangga ergonomis yang ramah bagi pengunjung semua usia dan jenis kelamin.

Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk menghitung dan mensimulasikan antropometrik pengunjung, kebutuhan tangga di tiap-tiap segmen, dan energi expenditure yang dibutuhkan pengunjung. Dengan diketahuinya antropometrik pengunjung tersebut, maka pengunjung diharapkan akan terhindar dari cedera, baik yang disebabkan oleh faktor kelelahan maupun salah posisi. Pendekatan masalah yang digunakan adalah analisis antropometri dan biomekanika. Produk yang dihasilkan adalah desain tangga ergonomis untuk tiga segmen, yaitu di pintu masuk, area jelajah alam museum gunung api purba, dan di tangga menuju puncak Gunung Ireng. Dipilihnya ke tiga segmen tangga tersebut dilatarbelakangi oleh perbedaan slope (kemiringan lereng),

Panjang tangga penghubung, dan merupakan segmen penting yang sering didatangi pengunjung.



Gambar 1. Peta lokasi dan jangkauan Gunung Ireng dari Kota Yogyakarta

KAJIAN PUSTAKA

Ergonomi adalah upaya pemanfaatan informasi dari kemampuan dan keterbatasan manusia dalam menjalankan aktivitasnya (Suhartono & Mindayani, 2020). Biomekanika adalah upaya dalam aplikasi gerakan bagian tubuh dan gaya yang bekerja (Kim et al., 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya energi expenditure dengan menggunakan konsep $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$ dan $\sum M = 0$, yang bertumpu pada empat segmen utama gerak, yaitu segmen tangan (telapak tangan, lengan bawah, dan lengan atas) dan segmen punggung (kaki dan kaki yang bertumpu) (Suhartono & Pradita, 2020). Dasar perumusan adalah periode kerja dan istirahat yang diperlukan dalam penggunaan fasilitas tangga (Ardana & Aritonang, 2015).

Aktivitas manusia selalu berhubungan dengan kemampuan fisik tubuh, salah satunya adalah otot dan tulang. Itulah sebabnya, manusia sering mengalami gangguan otot dan / atau tulang saat beraktivitas meskipun aktivitas itu telah biasa dilakukan atau bahkan telah melakukan pemanasan. Titik atau area yang sering mengalami cedera otot tersebut yaitu paha atas, paha bawah, tulang kering, tulang leher, dan tulang punggung (Gambar 2). Sedangkan yang rawan terjadinya kecelakaan kerja, seperti kram, arthritis, dan pecahnya disk (cairan antar sendi) adalah pada ruas tulang leher, tulang belakang (disebut L5/S1), dan pangkal paha. NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) menetapkan batasan-batasan maksimal untuk gaya angkat normal untuk

aspek psikofisik, biomekanik, dan fisiologi. Batasan biomekanik untuk gaya tekan 3,4 kN (770 lbs) pada tulang punggung, sedangkan batasan fisiologi untuk mengatur pengeluaran energi maksimum 2,2-4,7 kKal/min (Suhartono & Pradita, 2020).

Untuk mengukur pengeluaran energi maksimum dari manusia diperlukan analisis antropometri dan biomekanika. Data itu dikumpulkan secara statistic, sehingga perlu adanya uji kecukupan data. Data dasar pada kajian ini adalah data antropometri, yaitu tinggi badan, berat badan, saturasi oksigen, dan denyut jantung (sebelum beraktivitas, saat, dan setelah beraktivitas). Tentu setiap orang dengan jenis kelamin dan usia yang berbeda, maka memiliki sifat antropometri dan biomekanika yang berbeda pula. Dalam menguji kecukupan data untuk statistic, menggunakan persamaan (4) yang di dalamnya harus dipenuhi nilai rata-rata dan nilai tengah (persamaan 1-2) dan keseragaman datanya (persamaan 3) (Astuti, 2016):

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

\bar{X} = nilai rata-rata
 $\sum X$ = jumlah nilai hasil pengukuran
 N = frekuensi

Nilai standar deviasi dihitung menggunakan formula 2:

$$\alpha = \left[\frac{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}{N \cdot (N-1)} \right]$$

N = frekuensi
 α = standar deviasi

Uji keseragaman data meliputi BKA (Batas Kontrol Atas) dan BKB (Batas Kontrol Bawah) dihitung menggunakan formula 3:

$$BKA = \bar{X} + k \cdot \alpha$$

$$BKB = \bar{X} - k \cdot \alpha$$

\bar{X} = Nilai rata-rata

α = Standar deviasi

k = Tingkat kepercayaan (95%, $k=2$)

Uji kecukupan data (N' harus $N' < N$), jika dalam pengambilan data tidak sesuai maka harus menambahkan data kembali, menggunakan formula 4:

$$N' = \left[\frac{k/s \cdot \sqrt{N \cdot (\sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]$$

N' = Nilai kecukupan data

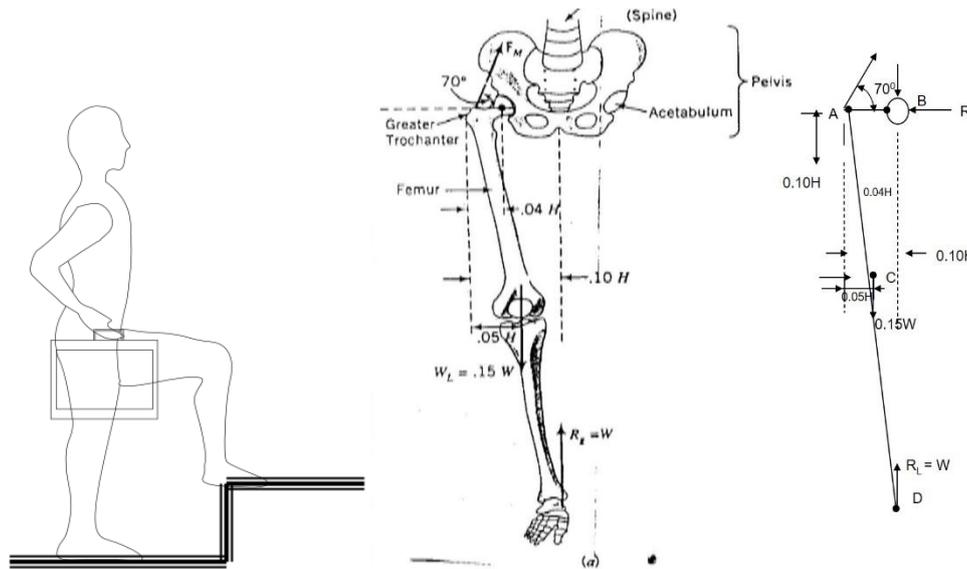
s = Terajat ketelitian (5%)

Energi expenditure adalah besarnya energi yang dikeluarkan oleh pengunjung untuk menaiki tangga (Dn_1 dan Dn_2). Hubungan energi expenditure dengan kecepatan denyut jantung saat beraktivitas adalah (Astuti, dkk, 2016):

$$W = 1,80411 - 0,0229038 X + 4,71733 \cdot 10^{-4} X^2$$

W = energi (kilokalori/menit)

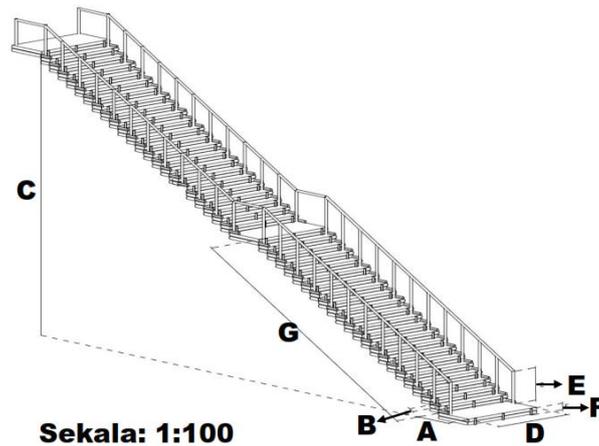
X = kecepatan denyut jantung (denyut/menit)



Gambar 2. Perkiraan biomekanika pinggul dan kaki dan DFB-nya (Pheasant,1991 dalam Meripal, 2017)

METODE PENELITIAN

Obyek penelitian adalah aktivitas dalam menaiki tangga pada destinasi wisata Gunung Ireg. Data yang dikumpulkan adalah dimensi tangga (jarak tempuh dan slope) dan antropometri pengunjung (tinggi dan berat badan, denyut jantung (sebelum (Dn_0), saat menaiki tangga I (Dn_1), dan setelah menaiki tangga II (Dn_2)). Hal pertama yang dilakukan adalah menyusun model tangga yang diyakini memiliki kondisi yang sama dengan tangga di daerah destinasi. Model tangga menggunakan tangga Gedung Laboratorium IST AKPRIND Yogyakarta di Kampus II Kotabaru. Model tangga ini dipilih dengan pertimbangan memiliki dimensi yang sesuai untuk kondisi alam. Data yang diperlukan untuk menentukan model tangga adalah slope tangga, dimensi (lebar dan tinggi) anak tangga, bentuk tangga, dan rail (pegangan tangga). Data digambarkan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan skala 1:100 (Gambar 3).



Gambar 3. Hipotesis penelitian untuk simulasi model tangga Gedung Laboratorium IST AKPRIND (Kotabaru) pada 17 Desember 2021 dengan (sekala 1:100)

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data antropometri pengunjung. Peralatan yang digunakan adalah meteran rol, oximeter digital, tensimeter, penggaris panjang, penggaris siku, busur derajat, dan timbangan badan. Pengukuran fisik tangga diambil di tiga segmen, yaitu di pintu masuk, jalur jelajah alam museum gunung api purba (zona inti), dan pada segmen tangga menuju puncak. Data dicatat dalam bentuk tabulasi, yang selanjutnya dilakukan analisis secara statistik menggunakan metode regresi. Perhitungan biomekanika didasarkan pada analisa diagram tubuh bebas pada saat pengunjung menaiki tangga, dihitung per segmen. Sintesis data menggunakan persamaan 1-7.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran dimensi tangga dan antropometri disajikan dalam Tabel 1. Data tersebut diuji nilai rata-ratanya, keseragaman data, dan kecukupan data (Tabel 2). Pengambilan data dilakukan kepada 10 orang model dengan berbagai usia dan kondisi fisik; yaitu 3 orang laki-laki berusia 20-27 tahun.

Tabel 1. Hasil pengukuran dimensi tangga (kiri) dan data antropometri (kanan)

SEGMENT	TANGGA A	TANGGA B	TANGGA C	MODEL	L/P	USIA	TB	TB
A	96	80	86	<i>M. Sabri</i>	L	22	168	60
B	26	30	18	<i>Mirsan</i>	L	22	162	67
C	800	600	500	<i>Ardiyanti</i>	P	21	159	53
D	200	165	140	<i>Husnun</i>	P	26	155	54
E	95	89	100,5	<i>Nurasikin</i>	L	27	170	76
F	16,5	12,8	14	<i>Dini</i>	P	45	155	55
G	400	300	250	<i>Sunan</i>	L	47	165	65
				<i>Arman</i>	L	51	160	72
				<i>Kemani</i>	P	61	158	58
				<i>Irhabillah</i>	P	49	160	72
JUMLAH ANAK TANGGA	I:18 II:9	I: 22 II:10	I: 11 II: 8					

Hasil pengukuran denyut jantung dari ke-sepuluh model (Tabel 2) adalah minimalis untuk uji statistik. Data ini semestinya membutuhkan sedikitnya 30 responden untuk masing-masing kategori umur dan jenis kelamin, dengan kondisi fisik yang atletis, standar, dan awam. Namun karena penelitian dilakukan pada kondisi pandemic,

sementara destinasi wisata belum dibuka untuk kunjungan, maka responden hanya menggunakan warga lokal yang sudah terbiasa melalui area destinasi. Hasil pengukuran dan nilai uji kecukupan data disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran denyut jantung pengamatan penggunaan Tangga A, Tangga B, dan Tangga C

MODEL	TANGGA A				TANGGA B				TANGGA C			
	Dn ₀		Dn ₁		Dn ₀		Dn ₁		Dn ₀		Dn ₁	
	Dn ₀	X ²										
<i>M. SABRI</i>	80	6400	82	6724	83	6889	84	7056	69	4761	84	7056
<i>MIRSAN</i>	79	6241	80	6400	80	6400	85	7225	80	6400	85	7225
<i>ARDIYANTI</i>	85	7225	86	7396	84	7056	86	7396	91	8281	86	7396
<i>HUSNUN</i>	78	6084	81	6561	83	6889	84	7056	83	6889	84	7056
<i>NURASIKIN</i>	82	6724	83	6889	85	7225	88	7744	87	7569	88	7744
<i>DINI</i>	80	6400	84	7056	86	7396	87	7569	83	6889	87	7569
<i>SUNAN</i>	84	7056	86	7396	87	7569	89	7921	89	7921	89	7921
<i>ARMAN</i>	75	5625	80	6400	80	6400	83	6889	79	6241	83	6889
<i>KEMANI</i>	84	7056	85	7225	82	6724	84	7056	82	6724	84	7056
<i>IRHABILLAH</i>	82	6724	83	6889	81	6561	85	7225	70	4900	85	7225

Energy expenditure pada penelitian ini diartikan sebagai pengeluaran energi per individu, dihitung dari nilai denyut jantung pada saat menaiki tangga. Dengan menggunakan pendekatan regresi, digunakan untuk menghitung besaran energi expenditure pada tiap-tiap segmen tangga, menggunakan formula 5 di atas (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis energi expenditure di masing-masing segmen tangga

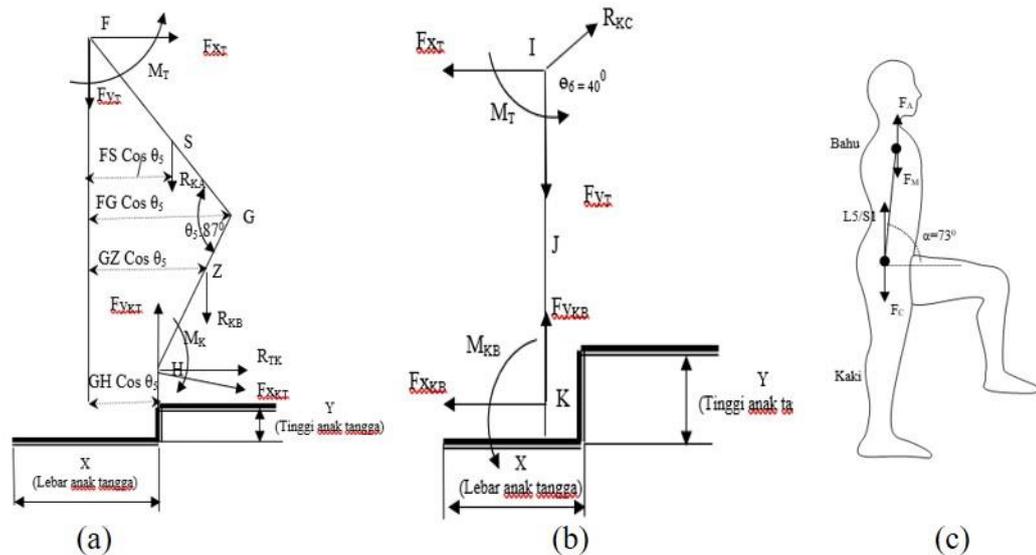
Obyek	Hasil Analisis Statistik Tangga					
	Notasi	α	Uji Keseragaman Data		Uji Kecukupan Data	
			BKA	BKB	N'	N
TANGGA A	Dn ₀	4,82	90,54	71,34	1.45	10
	Dn ₁	0,55	84,10	82,10	0.15	10
	Dn ₂	1,91	88,32	80,72	0.88	10
TANGGA B	Dn ₀	25,56	134,5	28,1	3,39	10
	Dn ₁	25,4	133,4	31,8	3.27	10
	Dn ₂	25,5	133,5	33,5	3.24	10
TANGGA C	Dn ₀	2,93	88,96	77,36	1.13	10
	Dn ₁	1,91	89,32	81,72	0.85	10
	Dn ₂	1,64	90,08	83,68	0.79	10
Data Antropometri						
Tinggi Badan Rata-Rata (Cm)	161,9	10,1	182,1	141,7	0,54	10
Berat Badan Rata-Rata (Kg)	53,6	7,13	67,86	39,34	7,12	10
Energi Expenditure (Kkal/Menit)						
TANGGA A	7.08138					
TANGGA B	6.49977					
TANGGA C	7.0049					

Nurmantyo (1991 dalam Widyasih, 2016) menjelaskan bahwa sistem kerangka manusia mempunyai beberapa titik rawan, yaitu pada ruas tulang leher, ruas tulang belakang (L5/S1), dan pangkal paha (Gambar 4.c). Titik L5/S1 dikenal sebagai titik terrawan, yang di dalamnya terdapat cairan peredam antar ruas (lumbar ke-5 dan sacrum ke-1). Ketika tekanan yang dibentuk akibat melakukan kegiatan (seperti mengangkat beban dan menaiki tangga) melampaui batas atasnya, maka dapat pecah dan dapat menyebabkan kelumpuhan. Free body diagram pada segmen punggung L5/S1 (F_A, F_M, dan F_C) menggambarkan arah gaya vertikal untuk menghitung energi yang dikeluarkan oleh titik tersebut. Simulasi dilakukan pada segmen kaki saat menaiki tangga (Gambar

4.a), segmen kaki saat bertumpu (Gambar 4.b), dan free body diagram secara keseluruhan (Gambar 4.c) (dimodifikasi dari Pheasant,1991 dalam Meripal, 2017 dan Nurmantyo, 1991 dalam Widyasih, 2016). Gaya tekan (kompresi) pada segmen L5/S1 (F_C) dihitung dengan menggunakan persamaan 6.

$$F_C = R_{otot} \cos \alpha - F_A + F_M$$

R_{otot} adalah gaya keseluruhan yang dikeluarkan oleh otot, F_A adalah besarnya gaya yang dihasilkan oleh tekanan perut (153,45 N), dan F_M adalah besarnya gaya pada otot tulang belakang L5/S1 (307,03 N). Gaya kompresi pada penggunaan tangga di area pintu masuk mendapatkan nilai sudut kaki saat menaiki anak tangga paling nyaman pada sudut 24-25°, nilai F_C pada segmen L5/S1 adalah antara 300-334 N (Tabel 4).



Gambar 4. Free body diagram untuk menghitung gaya kompresi pada (a) segmen kaki saat menaiki anak tangga; (b) segmen kaki bertumpu; dan (c) segmen punggung (dimodifikasi dari Pheasant,1991 dalam Meripal, 2017 dan Nurmantyo, 1991 dalam Widyasih, 2016)

Tabel 4. Hasil analisis biomekanika penggunaan tangga di area pintu masuk, puncak, dan destinasi geowisata

Lokasi Penelitian	Segmen	Sudut (x°)	Momen (NM)	Fx (N)	Fy (N)	PA (N/cm^2)	FA (N)	FM (N)	Rotot (N)	FC (N)
Pintu masuk pariwisata	Tangan									
	a. Telapak tangan	$\alpha = 20, e_1 = 25$	2.60	0	32.55					
	b. Lengan bawah	$e_2 = 40$	9.2	0	41.46	0.33	153.45	307.03	504.64	299.92
	c. Lengan atas	$e_3 = 50$	18.91	0	56.16					
	Punggung	$e_4 = 73$	44.26	0	245.2					
	Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 87$	51.04	0	507.83					
Jalur menuju Puncak Gunung Ireng	Kaki yang bertumpu	$e_6 = 40$	94.96	0	271.41					
	Tangan									
	a. Telapak tangan	$\alpha = 18, e_1 = 24$	2.27	0	32.55					
	b. Lengan bawah	$e_2 = 35$	9.31	0	41.46	0.40	186	372.03	504.64	333.57
c. Lengan atas	$e_3 = 46$	19.77	0	56.16						
Punggung	$e_4 = 68$	52.12	0	245.2						

Destinasi Geowisata	Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 85$	63.43	0	507.83					
	Kaki yang bertumpu	$e_6 = 38$	104.15	0	271.41					
	Tangan									
	Telapak tangan	$\alpha = 20, e_1 = 25$	2.60	0	32.55	0.35	162.47	324.60	504.64	326.14
	Lengan bawah	$e_2 = 37$	9.54	0	41.46					
	Lengan atas	$e_3 = 48$	19.68	0	56.16					
Punggung	$e_4 = 71$	49.16	0	245.2						
Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 88$	52.65	0	507.83						
Kaki yang bertumpu	$e_6 = 38$	105.12	0	271.41						

Dari hasil analisis biomekanika untuk energi expenditure yang digunakan dalam menaiki tangga di Gunung Ireng, terlihat tangga pintu masuk yang paling nyaman, dengan nilai gaya pada L5/S1 adalah 299,92 N. Maka tangga tersebut yang selanjutnya digunakan sebagai model dalam menghitung dimensi anak tangga yang ergonomis. Pada penambahan 2cm per anak tangga, dan sudut per segmen tubuh 3°, energi expenditure yang diperlukan adalah 267,4 N, sedangkan pada pengurangan dimensi anak tangga justru mendapatkan nilai kebutuhan energi adalah 305,95N (Tabel 5).

Tabel 5. Simulasi pengurangan dan penambahan nilai x° sebesar 2 cm pada model tangga di pintu masuk Gunung Ireng

Lokasi Penelitian	Segmen	Sudut (x°)	Momen (NM)	F_x (N)	F_y (N)	P_A (N/cm ²)	F_A (N)	F_M (N)	R_{tot} (N)	F_G (N)
Nilai Asli di tangga pintu masuk	Tangan									
	a. Telapak tangan	$\alpha = 20, e_1 = 25$	2.60	0	32.55					
	b. Lengan bawah	$e_2 = 40$	9.2	0	41.46	0.33	153.45	307.03	504.64	299.92
	c. Lengan atas	$e_3 = 50$	18.91	0	56.16					
	Punggung	$e_4 = 73$	44.26	0	245.2					
	Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 87$	51.04	0	507.83					
Pengurangan 2 cm	Kaki yang bertumpu	$e_6 = 40$	94.96	0	271.41					
	Tangan									
	a. Telapak tangan	$\alpha = 23, e_1 = 28$	2.27	0	32.55	0.27	125.55	249.93	504.64	305.95
	b. Lengan bawah	$e_2 = 43$	8.63	0	41.46					
	c. Lengan atas	$e_3 = 53$	17.76	0	56.16					
	Punggung	$e_4 = 76$	38.91	0	245.2					
Penambahan 2 cm	Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 90$	38.91	0	507.83					
	Kaki yang bertumpu	$e_6 = 43$	88.7	0	271.41					
	Tangan									
	a. Telapak tangan	$\alpha = 17, e_1 = 22$	2.27	0	32.55	0.30	139.5	278.74	504.64	267.40
	b. Lengan bawah	$e_2 = 37$	9.21	0	41.46					
	c. Lengan atas	$e_3 = 47$	19.55	0	56.16					
Punggung	$e_4 = 70$	49.44	0	245.2						
Kaki saat menaiki tangga	$e_5 = 84$	63.01	0	507.83						
Kaki yang bertumpu	$e_6 = 37$	116.28	0	271.41						

Nilai batasan angkat maksimum yang direkomendasikan oleh NIOSH (1991) adalah 6500 Newton pada L5/S1, sedangkan nilai normal adalah 3400 N (Karwowski et al., 1995). Untuk orang Asia sebanyak 1% wanita dan 25% pria mampu melampaui batas angkat maksimum, dan 90% pria dan 75% wanita mampu menahan gaya normal (Mas'adah dkk., 2009). Jadi, modifikasi dimensi anak tangga yang paling memungkinkan adalah melalui penambahan 2cm. Dalam simulasi juga dilakukan penghitungan waktu istirahat sehingga pengunjung merasa nyaman. Astuti et al (2016) menentukan rumus persamaan untuk mengukur besaran energi yang diperlukan mengacu pada persamaan (7), waktu yang diperlukan untuk istirahat adalah:

$$R = \frac{T(W-S)}{W-1.5}$$

R: Istirahat yang dibutuhkan dalam menit

T: Total waktu kerja dalam menit

W: konsumsi energy rata-rata untuk bekerja dalam Kkal/menit

S: energi rata-rata yang direkomendasikan (Kkal/menit; biasanya 2-5 Kkal/menit)

Dengan menggunakan persamaan 7, jika kecepatan denyut jantung maksimum adalah 86 bpm, maka dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan nilai kalori yang dibutuhkan adalah 3,31 Kkal/menit, sedangkan waktu yang diperlukan untuk istirahat (mengacu persamaan 6) sehingga terbentuk cadangan energi adalah 2,74 menit. Dengan asumsi bahwa selama istirahat terjadi akumulasi energi sebesar 1,5 Kkal/menit, sedangkan pemulihan tingkat energi demand cadangan akan dapat dibangun kembali pada 5,0-1,5 Kkal/menit, maka periode istirahat yang dibutuhkan adalah $TR = 25: (2-1,5) = 50$ detik atau 0.83 menit. Jika waktu yang dipakai untuk menaiki tangga adalah $T_w = 25: (E - 5)$; E adalah konsumsi kalori yang dibutuhkan (3,31 Kkal/menit) yang diasumsikan akan habis pada 2 menit, maka waktu ideal yang dibutuhkan untuk menaiki tangga secara maksimal adalah 1,9 menit. Jadi pengunjung dapat menaiki tangga maksimal selama 1,9 menit, selanjutnya berhenti pada *optrade* selama 0,83 menit, baru setelahnya dapat melanjutkan lagi pada tangga berikutnya.

Diketahui (a) energi expenditure di tangga pintu masuk adalah 7.08138 Kkal/menit, (b) energi expenditure di tangga jalur ke puncak adalah 7.0049 Kkal/menit, dan (c) energi expenditure di tangga destinasi Geowisata adalah 6.49977 Kkal/menit. Di ke tiga lokasi penelitian, energi expenditure yang dibutuhkan berkategori moderat yaitu antara 6,0 – 7,5 Kkal. Hasil sintesis data biomekanika pada tangga di tiga tempat dihasilkan penambahan dimensi tangga 2 cm di area puncak menghasilkan gaya pada L5/S1 adalah 267,40 N. Nilai ini adalah kondisi ternyaman dalam melakukan kegiatan menaiki tangga di Gunung IRENG. Data hasil analisis periode kegiatan dan periode istirahat, selanjutnya dilakukan simulasi untuk menentukan dimensi tangga. Data dasar yang diperlukan ada panjang langkah rata-rata pengunjung, kecepatan langkah normal, dan jarak tempuh. Kegiatan penelitian ini memerlukan kajian selanjutnya untuk membahas dan mensimulasikan dimensi tangga tersebut.

KESIMPULAN

Keberadaan tangga di destinasi wisata Gunung IRENG bersifat urgen. Saat ini salah satunya telah memenuhi konsep ergonomis, yaitu pada tangga pintu masuk. Kedua tipe tangga yang lain, yaitu yang terletak di jalur menuju puncak dan di destinasi geowisata

dapat ditingkatkan lagi tingkat kenyamanannya, yaitu dengan melakukan penambahan dimensi tangga 2cm dan sudut 3° dari tangga pintu masuk. Secara keseluruhan masih ada tangga menuju pasar tradisional dan tangga menuju area calon kantor baru. Hasil ini juga dapat diaplikasikan untuk mendapatkan kenyamanan lebih, mengacu pada tangga pintu masuk yang dimodifikasi. Modifikasi harus mengakomodasi waktu tempuh maksimal yang diperlukan adalah 1,9 menit, kemudian istirahat selama 0,83 menit pada area oprade, dan baru dapat melanjutkan lagi pada jarak tempuh yang sama, dan seterusnya. Penelitian selanjutnya diperlukan untuk menentukan dimensi tangga, mengacu pada waktu tempuh dan waktu istirahat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, I. C., & Aritonang, L. R. (2015). Reviewer I Cenik Ardana, Lerbin R. Aritonang, Ardiansyah R. " *Students' Whistleblowing Intention* ", 4(04), 573-584.
- Astuti, S. B., Anggraita, A. W., Azhar, M. H., & Rubianto, A. (2016). Persepsi Terhadap Lebar Koridor Utama pada Apartemen Ditinjau dari Respon Fisik Pengguna. *Jurnal Desain Interior*, 1(2), 111-122.
- Dickerson, C. R., Chaffin, D. B., & Hughes, R. E. (2007). A mathematical musculoskeletal shoulder model for proactive ergonomic analysis. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 10(6), 389-400.
- Inyang, N., Al-Hussein, M., El-Rich, M., & Al-Jibouri, S. (2012). Ergonomic analysis and the need for its integration for planning and assessing construction tasks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), 1370-1376.
- Kim, J., Kim, J. B., Day, J., und Asfang, J. S., & Lee, W. C. (2021). Radiographic characteristics and outcomes of simple resection for naviculo-medial cuneiform coalition in adults. *Foot and Ankle Surgery*, 27(7), 820-826.
- Karwowski, W., Caldwell, M., & Gaddie, P. (1994, October). Relationships between the NIOSH (1991) lifting index, compressive and shear forces on the lumbosacral joint, and low back injury incidence rate based on industrial field study. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 38, No. 10, pp. 654-657). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Mas'idah, E., Fatmawati, W., & Ajibta, L. (2009). Analisa Manual Material Handling (MMH) dengan Menggunakan Metode Biomekanika untuk Mengidentifikasi Resiko Cidera Tulang Belakang (Musculoskeletal Disorder)(Studi Kasus pada Buruh Pengangkat Beras di Pasar Jebor Demak). *Majalah Ilmiah Sultan Agung*, 45(119), 37-56.
- ZULYAT MERIPAL, Z. M. (2017). *Pengaruh senam kaki terhadap penurunan resiko ulkus kaki pada pasien diabetes melitus tipe 2 di ruang rawat inap penyakit dalam RSUD RSAM Bukittinggi tahun 2017* (Doctoral dissertation, STIKes PERINTIS PADANG).
- Mulyaningsih, S., Tania, D., Heriyadi, N. A., & Suhartono, S. (2019). Identifikasi Jelajah Geologi Gunung Api Purba Gunung Ireng Desa Pengkok, Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Pariwisata*, 6(15), 154-168.
- Mulyaningsih, S., Tania, D., Heriyadi, N. A., & Suhartono, S. (2020, December). Development of Community-Based Geotourism at Gunung Ireng-Gunungkidul

- Regency. In *THE 49TH IAGI ANNUAL CONVENTION & EXHIBITION* (No. 5, pp. 203-207). Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Mulyaningsih, S., Suhartono, S., Heriyadi, N. W. A. A. T., & Tania, D. (2021a). PENDAMPINGAN KEPEMANDUAN GEOWISATA KAWASAN CAGAR ALAM GEOLOGI GUNUNGKIDUL: MENUJU KEBANGKITAN" THOUGHTFUL" INDONESIA. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 3(1).
- Mulyaningsih, S., Tania, D., Heriyadi, N. A. A. T., & Suhartono, S. (2021b) Mentoring and Training in Developing Gunung Ireng Geotourism, Patuk District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, 7(4), 265-272.
- Statham, M. M., Sukits, A. L., Redfern, M. S., Smith, L. J., Sok, J. C., & Rosen, C. A. (2010). Ergonomic analysis of microlaryngoscopy. *The Laryngoscope*, 120(2), 297-305.
- Suhartono & Mindhayani, I. (2020). Intervensi Ergonomi Pada Perancangan Meja Las Untuk Sekolah Vokasi. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 2(1), 45-50.
- Suhartono & Praditya, F. G. (2020). Rancangan Meja Penyambung Benang Tenun Dengan Pendekatan Anthropometri dan Biomekanika (Studi Kasus pada PT. PRIMISSIMA). *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 2(2), 59-66.
- Widyasih, N. (2016). *Aplikasi Model Biomekanika Statis 2 Dimensi Untuk Menentukan Gaya Kompresi Sendi L5/S1 Pada Pengemudi Mobil* (Doctoral dissertation, UPN" Veteran" Yogyakarta).