

Perancangan Mesin Perontok Padi Portabel Menggunakan Pendekatan Biomekanika

Suhartono¹, Iva Mindhayani², Ilmardani Rince Ramli³

^{1,2} Fakultas Sains Dan Teknologi, Program Studi Teknik Industri, Universitas Widya Mataram
Dalem Mangkubumen KT.III/237 Yogyakarta

Email: sharjosaputro7@gmail.com, ivamindhayani@gmail.com, daniramligallery@gmail.com

ABSTRAK

Mesin perontok padi yang berada di ekowisata Geopark Gunung Sewu Gunung Kidul sebagian besar masih menggunakan pedal tunggal tradisional yang terbuat dari sepeda atau becak yang tidak terpakai. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya cedera otot ypadaa petani setelah bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi mesin perontok padi tradisional tersebut agar dapat mengurangi risiko terjadinya cedera otot, dapat meningkatkan produktivitas dan terlihat menarik oleh pengunjung. Metode penelitian menggunakan analisis biomekanika dari gaya-gaya yang dihasilkan oleh masing-masing segmen tubuh yang berpengaruh. Hasil penelitian terdapat koreksi desain mesin pada bentuk dan dimensi mesin antara lain; penambahan pedal, handle, sadel, setang dan roda fleksibel (yang dapat diatur ke atas dan ke bawah). Berdasarkan analisis fisiologis, energi yang dibutuhkan sebesar 2.633387 Kkal/menit dimana dapat dikategorikan beban ringan dan membutuhkan istirahat 5-6 menit. Sedangkan hasil analisis biomekanika pada mesin lama menunjukkan berat yang ditanggung oleh kaki penyangga oleh setiap segmen tubuh adalah 1902.719 N, sedangkan mesin hasil perbaikan memiliki beban lebih kecil yaitu 974.793 N. Gaya minimum yang terjadi pada setiap segmen adalah 288,907 N pada lengan dan bahu, 22,171 N pada bagian belakang, 254,541 N pada kaki mengayuh, dan 147,736 N pada pijakan kaki, sehingga dinyatakan bahwa itu lebih kecil dari standar NIOSH (1981) yang direkomendasikan sebesar 3400 N. Jadi, berdasarkan analisis antropometri, aspek ergonomis, dan biomekanik yang dikoreksi dari mesin perontok lebih baik dan lebih ergonomis daripada mesin lama. Dengan menggunakan desain mesin ini, masalah cedera otot dapat diatasi sehingga pekerjaan menjadi lebih aman, nyaman, sehat, efektif, dan efisien. Wisatawan dapat belajar lebih baik dan lebih banyak orang tertarik untuk mencobanya ketika musim panen tiba.

Kata kunci: redesain, portable, mesin perontok padi, ergonomis, biomekanik

ABSTRACT

Mostly portable rice threshing machines in the Gunung Sewu Geopark ecotourism (Indonesia) are traditional single pedals made from unused bicycles or pedicabs. Muscle injuries often occurred by the farmers after work. This study aims to modify those traditional machines, so that can reduce muscle injuries, even improve productivity and make them look eye-catching for visitors. The method used biomechanical analysis using anthropometric properties that were analyzed using a statistical approach. The results are machine design corrections that occurred in the shape and dimensions, i.e additions of pedals, handles, saddle, handlebars, and flexible wheels (that can be adjusted up and down). Based on the physiological analysis, the energy consumption is 2.633387 Kcal/minute which is categorized as light load and the need for rest time is 5-6 minutes. The biomechanical analysis for the initial total load using the old machine is 1902.719 N and using the corrected machine is 974.793 N. The minimum force that occurred on each segment is 288.907 N on the arms and shoulders, 22.171 N on the back, 254.541 N on the pedaling leg, and 147.736 N on the footrests, so it is stated that it is smaller than the recommended NIOSH (1981) standard of 3400 N. So, based on the anthropometric analysis, the ergonomic aspects, and the corrected biomechanics of the thresher machine are better and more ergonomic than the old machine. By using this machine design, the problem of muscle injury can be overcome so that the work becomes safer, more comfortable, healthy, effective, and efficient. Tourists can learn better and more people are interested in trying it when the harvest season arrives.

Keywords: redesign, portable, thresher machine, ergonomic, biomechanics

I. PENDAHULUAN

Ilmu ergonomi sangat cepat berkembang sejalan dengan pertumbuhan teknologi dan industry. Berbagai kajian yang terkait dengan di dalamnya telah dilakukan dengan tujuan membuat nyaman, aman, dan efisien dalam mendukung penggunaan alat kerja pada industry. Dalam acuannya, mereka menggunakan NIOSH Lifting Equation (NLE) untuk menilai risiko cedera tulang (Arjmand et al, 2015; Habes and Putz-Anderson 1985; Nussbaum, et al, 1995). Analisis NIOSH memberikan batas berat yang direkomendasikan (RWL) gaya kompresi tisaq melebihi 3400N (Elfeituri and Taboun, 2002). NLE masih relevan untuk diterapkan dalam menghitung beban gaya pekerja perempuan, selama beban energi didukung di bawah ketinggian buku jari (Potvin, 2014).

Negara Indonesia adalah negara agraris, sektor pertanian memegang peranan sangat penting, sehingga pengembangan alat-alat pertanian mutlak diperlukan. Proses perontokan padi merupakan aktivitas kerja, sedangkan sebagian besar proses tersebut dikerjakan petani secara manual dengan satu kaki mengayuh. Dimensi alat perontok padi umumnya terlalu rendah, sehinga punggung dan lutut terasa nyeri, pinggang pegal-pegal, dan cepat lelah. Mesin perontok padi yang ada belum didesain dengan mempertimbangkan aspek ergonomi dan belum sesuai postur tubuh petani. Postur tubuh manusia di dunia beragam ada orang Asia dengan perawakan kecil, Eropa dan Afrika dengan perawakan besar, Melayu, dan Jawa dengan perawakan lebih kecil dari Asia Timur Raya (Grasgruber and Masanovic, et al. 2022; Grasgruber and Mašanović, et al. 2022; Suryadarma, 2019).

Mesin perontok padi dibutuhkan petani saat menghadapi masa panen. Meskipun kegiatan panen merupakan bagian dari paket wisata, namun proses perontokan padi sepenuhnya dilakukan oleh para petani. Desain mesin yang tidak ergonomis membuat petani merasa sakit pada beberapa bagian tubuh dan mudah mengalami kelelahan. Ketidakseimbangan antara proses pengambilan dan perontokan dipicu oleh sebagian besar mesin yang digunakan untuk bekerja secara manual dengan mengayuh tunggal. Rasa sakit yang dialami oleh petani pada beberapa bagian tubuh seperti pada bagian punggung dan lutut. Oleh sebab itu perlunya dilakukan redesain mesin perontok padi yang lebih ergonomis. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Heru (2003) yaitu merancang mesin perontok padi dengan memanfaatkan antropometri petani.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain ulang mesin perontok padi berdasarkan pada beban optimal kaki yang bertumpu. Dalam hal ini gaya dihasilkan dari otot pada masing-masing segmen tubuh. Analisis dilakukan dengan didasarkan pada biomekanika dan beban kerja fisiologis petani dari besarnya konsumsi energi. Untuk menentukan kategori beban kerja disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Klasifikasi beban kerja dalam reaksi fisiologis (Broucha, 1986)

<i>Work Load</i>	<i>Oxygen consumption in liters per minute</i>	<i>Energy expenditure in calories per minute</i>	<i>Heart rate during work in blats per minute</i>
<i>High</i>	0,5 - 1,0	2,5 - 5,0	60 - 100
<i>Moderate</i>	1,0 - 1,5	5,0 - 7,5	100 - 125
<i>Heavy</i>	1,5 - 2,0	7,5 - 10,0	125 - 150
<i>Very heavy</i>	2,0 - 2,5	10,0 - 12,5	150 - 175

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Eowisata Gunung Sewu Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengumpulan data berasal dari responden sebanyak 90 orang terdiri dari responden perempuan berjumlah 75 orang, responden laki-laki sebanyak 15 orang.

2.1 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan antara lain data antropometri (tinggi dan berat badan) serta data biomekanik (jenis kelamin dan usia).

2.2 Pengolahan data meliputi:

1. Uji kecukupan data

Pengujian kecukupan data dengan syarat $N' < N$, jika dalam pengambilan data tidak sesuai maka harus menambahkan data kembali dan melakukan uji kecukupan data dengan persamaan 1:

$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \dots\dots\dots (1)$$

N' = Jumlah pengamatan yang seharusnya dilakukan; k = Tingkat Kepercayaan (95%, $k = 2$); s = Derajat Ketelitian (5%); dan N = Banyak data yang diamati.

2. Uji keseragaman data
 Uji keseragaman data denyut jantung dan antropometri meliputi penentuan batas kontrol (BK).

3. Menghitung jumlah konsumsi energi dan unit kerja fisiologis
 Jumlah konsumsi energi dihitung berdasarkan persamaan 2 dan persamaan 3 berikut:

$$Y = 1,80411 - 0,0229038 X + 4,71733 \cdot 10^{-4} X^2 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

Y = energi (kilo kalori/menit)

X = kecepatan denyut jantung (denyut/menit)

Setelah besaran kecepatan denyut jantung disetarakan dalam bentuk energi, maka konsumsi energi untuk kegiatan kerja tertentu bisa dituliskan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$KE = E_t - E_i \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

KE = konsumsi energi (kilo kalori/menit)

E_t = pengeluaran energi pada saat waktu kerja tertentu (kilo kalori/menit)

E_i = pengeluaran energi pada saat istirahat (kilo kalori/menit)

Penentuan unit kerja fisiologis yaitu menghitung waktu istirahat. Wignjosoebroto (1995) menyusun metode untuk menentukan waktu istirahat sebagai kompensasi dari pekerjaan fisik seperti ditunjukkan pada persamaan 4.

$$R = \frac{T(W - S)}{W - 1,5} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

R: istirahat yang dibutuhkan (menit), T: total waktu kerja (menit), W:= konsumsi energi rata-rata untuk bekerja (Kkal/menit) dan S = pengeluaran energi rata-rata (Kkal/menit; biasanya 4 atau 5 Kkal/menit). Broucha (1986) menyusun klasifikasi beban kerja dalam reaksi fisiologis, untuk menentukan berat ringannya suatu pekerjaan seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

4. Menghitung gaya otot yang terjadi pada masing-masing segmen bagian tubuh.
 Segmen tubuh petani meliputi segmen tangan dan bahu, punggung, kaki mengayuh, kaki bertumpu pada hukum Newton pertama yaitu : $\sum F_y = 0$, $\sum F_x = 0$, $\sum M = 0$ (Sears, 1994).
5. Menghitung total beban kaki yang bertumpu dengan menjumlahkan gaya-gaya minimum per segmen, gaya minimum didapat dengan mengubah-ubah sudut pengerjaan per segmennya.

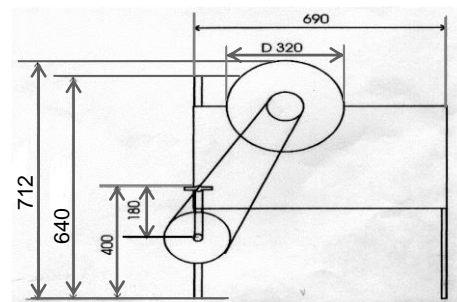
2.3 Implementasi hasil

Hasil dari pengolahan data digunakan sebagai acuan untuk merancang ulang mesin perontok padi. Hasilnya diuji secara rinci dan dievaluasi untuk kekurangan, jika lebih baik dengan tingkat peningkatan oleh angka NIOSH, desain produk mesin baru dapat diimplementasikan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan pada dimensi mesin, antropometri pengguna, dan biomekanik pengguna. Data spesifikasi teknis mesin diukur dalam satuan milimeter. Ini terdiri dari lebar dan tinggi mesin, lebar dan tinggi kotak, lebar dan tinggi lubang input, tinggi antara poros dan pergelangan kaki, panjang lengan dayung, lebar dan panjang pedal, dan tinggi antara pedal dan lantai (Gambar 1).

- Tinggi mesin : 550 mm
- Lebar kotak mesin : 650 mm
- Tinggi lubang masuk : 640 mm
- Tinggi antara poros dan kaki : 240 mm
- Panjang lengan dayung : 190 mm
- Tinggi pedal dari tanah : 35 mm
- Panjang pedal : 120 mm
- Lebar pedal : 75 mm



Gambar 1. Spesifikasi mesin perontok padi manual

Data antropometri yang dikumpulkan meliputi 15 variabel, yaitu panjang kaki ke lantai, tinggi lengan berdiri, tinggi siku istirahat, siku ke siku, bahu ke siku, siku ke pangkal tangan, panjang ibu jari, panjang jari telunjuk, lebar telapak tangan, lebar pinggul, panjang paha atas, tinggi lutut, lutut ke lutut, panjang kaki, dan lebar kaki. Dimensi pangkal kaki ke lantai digunakan untuk menentukan ketinggian maksimum sadel/jok bagi operator yang bertugas mengayuh mesin perontok. Rentang adalah data terbesar dikurangi data terkecil. Dimensi tinggi tangan berdiri untuk menentukan ukuran tinggi lubang input ke kotak perontokan. Tinggi siku istirahat untuk mengatur ketinggian setang, diukur dari ketinggian sadel sehingga operator dapat bekerja dengan nyaman. Siku ke siku untuk mengatur lebar setang/pegangan pada perontok agar operator dapat beroperasi dengan nyaman. Bahu ke siku ditambahkan ke panjang siku ke pergelangan tangan untuk menentukan jarak maksimum antara sadel dan setang/pegangan sehingga operator tidak terlalu banyak membungkuk dalam beroperasi. Panjang ibu jari ditambah panjang jari telunjuk digunakan untuk menentukan diameter maksimum setang/gagang sehingga dalam pengoperasiannya operator dapat memegangnya dengan sempurna. Lebar telapak tangan digunakan untuk mengatur lebar minimum pegangan pada setang sehingga operator dapat mencengkeram dengan nyaman. Lebar pinggul digunakan untuk menentukan lebar minimum sadel yang digunakan, sehingga operator dapat duduk dengan sempurna. Panjang paha atas digunakan untuk menentukan jarak minimum antara sadel dan setang, jarak antara sadel dan sumbu pedal serta untuk menentukan jarak antara poros pedal dan sumbu vertikal sadel. Tinggi lutut untuk menentukan jarak antara sadel dengan sumbu lengan dayung serta untuk menentukan panjang lengan dayung sehingga gerakan operator dapat dimaksimalkan. Lutut ke lutut untuk menentukan lebar poros engkol/jarak antar lengan dayung sehingga saat beroperasi posisi kaki tetap sejajar dengan paha atas. Panjang kaki untuk menentukan panjang pedal. Lebar kaki untuk mengatur lebar pedal.

Tabel 2. Contoh pengukuran antropometri menggunakan analisis Chi Square

Tinggi (cm)	Jarak tinggi kaki ke lantai			
	Frekuensi (Fi)	Frekuensi yang diharapkan (ei)	(Fi-ei) ²	Chi Square
93.5-95.05	7	4.67		
95.06-96.15	6	6.1	4.97	0.46
96.155-97.25	6	9.1	9.61	1.06
97.255-98.35	10	10.26	0.07	0.006
98.355-99.45	7	9.13	4.54	0.49
99.455-100.55	10	6.07		
100.555-101.65	4	4.67	10.62	0.98
Total Number	50			2.996

Rata-rata: $\bar{X} = (\sum x_i \cdot f_i) / N$ S:

$4890 / (50) = 97,8$ $\sigma = \sqrt{\frac{(\sum x_i^2 \cdot f_i) - \frac{(\sum x_i \cdot f_i)^2}{N}}{N-1}}$

2.08

Hasil uji kecukupan data dengan perhitungan manual dinyatakan data cukup dengan nilai $N' < N$. hal ini menunjukkan bahwa data sampel yang diambil untuk penelitian mencukupi. Analisis keseragaman menggunakan contoh data panjang kaki ke lantai yang diukur. Nilai percaya diri yang digunakan adalah 95%, dengan nilai K menjadi 2. Hasil perhitungan menunjukkan data panjang kaki ke lantai yang diukur dinyatakan seragam. Data uji keseragaman data dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji keseragaman data antropometri

Variabel	Max	Min	Uji keseragaman data				Status	Percentile				
			Rata-rat	σ	BKA	BKB		5	10	50	90	95
FFL	101	94	97.84	2.03	101.9	93.78	Seragam	94.5	-	-	-	-
SAH	69	58	62.74	3.655	70.05	55.43	Seragam	-	-	-	-	68.75
REL	25	20	22.7	1.71	26.12	19.27	Seragam	19.89	-	-	-	-
ETE	55	45	50.24	3.34	56.92	43.56	Seragam	-	-	50.24	-	-
STE	35	30	32.58	1.633	35.85	29.31	Seragam	29.89	-	-	-	-

Tabel 3. Hasil uji keseragaman data antropometri (lanjutan)

Variabel	Max	Min	Uji keseragaman data				Status	Percentile				
			Rata-rat	σ	BKA	BKB		5	10	50	90	95
EBH	27	23	25.03	1.386	27.8	22.26	Seragam	22.75	-	-	-	-
TL	6.4	5	5.64	0.409	6.46	4.82	Seragam	6.31	-	-	-	-
IFL	11.5	9	10.24	0.801	11.84	8.64	Seragam	8.92	-	-	-	-
PW	11.2	9.4	10.33	0.514	11.35	9.29	Seragam	-	-	-	-	11.18
HW	35	29	32.06	1.95	35.96	28.16	Seragam	-	-	-	-	35.27
ATL	47	40	43.78	2.18	48.14	39.42	Seragam	-	-	-	-	47.37
KH	55	45.5	50.3	3.229	56.76	43.84	Seragam	44.99	-	-	-	-
KTK	11	8	9.65	0.934	11.52	7.78	Seragam	-	-	-	-	-
FL	27	23.5	25.37	1.189	27.75	22.99	Seragam	-	-	-	-	27.32
FW	12	10	10.88	0.624	12.12	0.63	Seragam	-	-	-	-	11.68

Hasil pengamatan terhadap mesin perontok padi yang digunakan selama ini oleh petani menunjukkan bahwa desain mesin perontok adi tidak ergonomis. Operator bekerja berdiri dalam durasi lama dengan tumpuan beban pada kaki kiri, sedangkan kaki kanan mengayuh pedal dan kedua tangan memegang batang padi yang siap di rontokkan padinya. Hasil pengamatan juga menunjukkan padi yang dihasilkan dengan menggunakan mesin perontok padi manual sebanyak 80-90 kg/jam. Setiap keluarga umumnya dapat memanen antara 5-10 kuintal padi, sehingga operator mesin perontok padi membutuhkan waktu 6,5-7 jam. Apabila kondisi tubuh operator tidak baik sehingga energi yang didistribusikan tidak optimal, hal tersebut tentunya mengakibatkan operator mudah lelah sehingga produktivitas menurun. Perbandingan mesin manual dan mesin hasil Perancangan ulang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan mesin lama dengan mesin hasil perancangan ulang

Dimension	Mesin lama (cm)	Redesain mesin (cm)
Meja mesin:		
Tinggi lubang masuk	64	69
Lebar meja / box	65	100
Tinggi meja	55	100
Pedal mesin:		
Tinggi sadel	-	95
Tinggi setang	-	114
Lebar sadel	-	18
Jarak sadel ke setang	-	53
Lebar setang	-	50
Lebar gagang	-	11
Diameter gagang	-	4.8
Paddle-axle	-	24
Jarak antara pedal-lengan	-	10
Panjang pedal-lengan pedal	19	22
Lebar pedal	7.5	9
Panjang pedal	12	12
Jarak antara pedal dengan rantai	3.5	9

Berdasarkan Tabel 4 diketahui untuk mesin lama jarak pedal dengan rantai terlalu rendah (pendek) yaitu 3.5 cm menyebabkan kaki operator sering menyentuh rantai saat mengayuh pedal. Maka dari itu, diperlukan evaluasi dengan menerapkan prinsip ergonomi pada desain mesin perontok padi sehingga keluhan operator bekerja dengan aman, nyaman, sehat, efektif dan efisien. Hasil redesign mesin perontok padi yaitu dengan menambah satu pedal lagi sehingga ada dua pedal yang dapat diperasikan 2-3 orang (1 orang mengayuh pedal, 2 orang lainnya memasukkan batang padi). Badan alat ditambahi pegangan sehingga operator dapat mengayuh lebih kuat, stabil, aman dan nyaman. Tinggi meja diubah dari 64 cm menjadi 69 cm sesuai dengan antropometri tinggi 23ertical tangan. Lebar meja diubah dari 65 cm menjadi 100 cm untuk efisiensi, dan rotasi dirancang untuk 2 orang. Jarak pedal dari rantai telah diubah dari 3,5 cm menjadi 9 cm sehingga kaki dapat bergerak bebas, aman dan nyaman. Selanjutnya, perlu dilakukan uji kesesuaian hasil desain (Tabel 5).

Tabel 5. Perbandingan analisis biomekanik antara operator mesin lama dengan mesin hasil redesain

No	Segmen	Sudut	Fm (muscle force; N)	Rx (N)	Ry (N)	Ra (N)	Rs (N)
Mesin lama							
1.	Lengan dan pundak	$\alpha = 30^\circ; \beta = 75^\circ$	176,378	159,785	325,998	-	-
2.	Tulang belakang	$\theta = 65^\circ; \beta = 25^\circ$	-	-146,039	401,578	302,234	-37,357
3.	Pedal kaki (kaki mengayuh)	$h_1 = 25^\circ f_1 = 18^\circ$	622,654	564,316	883,544		
		$h_2 = 42^\circ f_2 = 35^\circ$	151,936	112,910	799,615		
		$h_3 = 53^\circ f_3 = 47^\circ$	79,893	48,080	761,755		
		$h_4 = 20^\circ f_4 = 13^\circ$	809,473	760,600	947,806		
4.	Kaki berdiri	$\theta = 65^\circ$	164,003	200,337	69,459	-	-
Total beban yang didukung kaki istirahat					1902,719		
Mesin hasil redesain							
1.	Lengan dan pundak	$\alpha = 30^\circ; \beta = 75^\circ$	176,378	159,785	34.948	-	-
2.	Tulang belakang	$\theta = 65^\circ; \beta = 25^\circ$	-	-146,039	19.942	302,234	-37,357
3.	Pedal kaki (kaki mengayuh)	$h_1 = 25^\circ f_1 = 18^\circ$	622,654	564,316	861.565		
		$h_2 = 42^\circ f_2 = 35^\circ$	151,936	112,910			
		$h_3 = 53^\circ f_3 = 47^\circ$	79,893	48,080			
		$h_4 = 20^\circ f_4 = 13^\circ$	809,473	760,600			
4.	Kaki berdiri	$\theta = 65^\circ$	164,003	200,337	58.338	-	-
Total beban yang didukung kaki istirahat					974.793 N		

Pengeluaran energi adalah energi yang dikeluarkan selama bekerja, dihitung menggunakan data panas rata-rata (Tabel 4) untuk batas atas (UCL) dan kontrol bawah (LCL). Langkah pertama adalah uji keseragaman data.

Selama bekerja:

$$UCL = \bar{X} + 2\sigma = 123.375 + 2*(0.724784) = 124.824$$

$$LCL = \bar{X} - 2\sigma = 123.375 - 2*(0.724784) = 121.925$$

Selama pemulihan:

$$UCL = \bar{X} + 2\sigma = 91.50 + 2*(0.724784) = 92.949$$

$$LCL = \bar{X} - 2\sigma = 91.50 - 2*(0.724784) = 90.050$$

Data dinyatakan seragam

Energi yang dikeluarkan:

Selama bekerja:

$$W = 1.08411 - 0.0229038 (\bar{X}) + 4.71733*10^{-4} (\bar{X}^2)$$

$$W = 1.08411 - 0.0229038*(123.375) + 4.71733*10^{-4} (123.375^2)$$

$$W = 5.618987 \text{ Kkal/menit}$$

Selama waktu pemulihan:

$$W = 1.08411 - 0.0229038 (\bar{X}) + 4.71733*10^{-4} (\bar{X}^2)$$

$$W = 1.08411 - 0.0229038 (91.50) + 4.71733*10^{-4} (91.50^2)$$

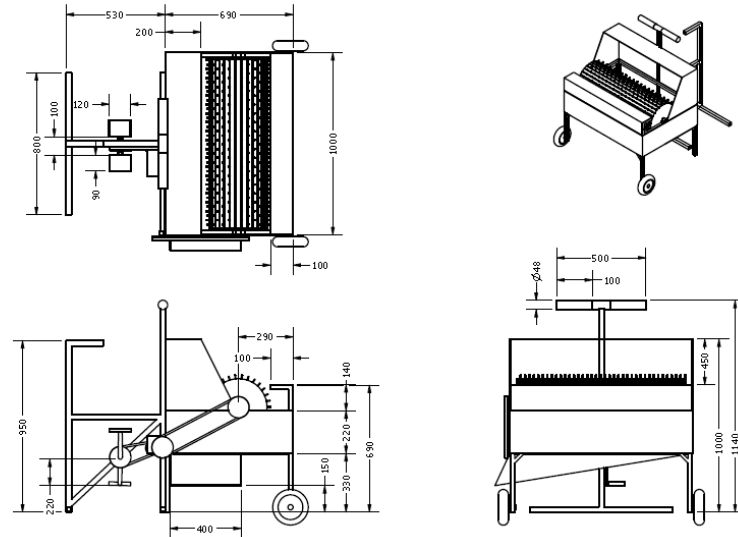
$$W = 2.9856 \text{ Kkal/menit}$$

seperti diketahui bahwa 5,618 Kkal/menit dikategorikan sebagai beban kerja sedang menurut klasifikasi beban kerja oleh Broucha (1986) yang ditunjukkan pada Tabel 1. Konsumsi energi (W) adalah perbedaan antara energi yang dikeluarkan dan waktu pemulihan. Pengeluaran energi selama mengayuh adalah 5,618987 Kkal/menit dan selama pemulihan adalah 2,9856 Kkal/menit, maka jumlah konsumsi energi (W) adalah 5,618987 - 2,9856 Kkal/menit, yaitu 2,633387 Kkal/menit. Konsumsi energi ini termasuk dalam klasifikasi beban kerja ringan menurut Broucha (1986). Waktu istirahat (R) dihitung mengacu pada (Wignjosobroto,

2007) sebagai kompensasi untuk pekerjaan fisik waktu kerja (T), perbedaan antara konsumsi energi (W) dan energi rata-rata yang dikeluarkan berbanding terbalik dengan konsumsi energi (W) dapat dihitung:

$$R = \frac{T(W - S)}{W - 1,5} = \frac{4(2,633387 - 4)}{2,633387 - 1,5} = 6,55 \text{ menit}$$

Sehingga waktu istirahat yang dibutuhkan operator dalam mengayuh adalah 6-7 menit. Sedangkan spesifikasi mesin yang didesain ulang disajikan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Mesin perontok padi hasil redesain

Sistem pertanian pada daerah pegunungan dan perbukitan seperti di kawasan Geopark Gunung Sewu tidak representatif untuk penerapan mesin perontok dalam pemanenan. Hal itu dikarenakan mesin berat dan geomorfologi atau kondisi daerah yang sangat bergelombang sehingga dipilih mesin perontok padi tradisional yang lebih mudah dibawa dalam spesifikasi skala keluarga. Sehingga dilakukan redesain mesin perontok padi tradisional dengan menambahkan setang, sadel, dan 2 roda pada kaki mesin membuatnya lebih mudah dioperasikan dan dipindahkan. Dengan menggunakan prinsip-prinsip antropometri dan analisis biomekanik, maka diperoleh desain mesin yang fleksibel, portabel dan ergonomis.

Perubahan bentuk dan dimensi telah disesuaikan dengan antropometri petani dan memperhatikan aspek ergonomi, analisis biomekanik. Perubahan tersebut juga disesuaikan dengan standar NIOSH terkait pembebanan otot yang aman. Mesin perontok padi lama dioperasikan oleh 1 operator dengan pedal 1, sedangkan mesin hasil redesain bisa dioperasikan 2-3 orang dengan 1 orang sebagai operator pengayuh pedal, 2 orang lainnya memasukkan batang padi untuk proses perontokan. Dimensi mesin hasil redesain; tinggi saluran masuk padi 69 cm, lebar box 100 cm, tinggi box 100 cm, tinggi sadel 95 cm, tinggi stang 114 cm. lebar sadel 35 cm, jarak sadel ke stang 53 cm, lebar stang 50 cm, lebar pegangan 11 cm, diameter pegangan 4.8 cm, jarak sadel ke poros pedal 24 cm, jarak antara lengan pedal 10 cm, panjang lengan pedal 22 cm, lebar pedal 9 cm, panjang pedal 12 cm, dan tinggi pedal dari lantai 9 cm. perubahan dimensi pada mesin hasil redesain telah mengikuti standar ergonomi yang efisien, sehat, aman dan nyaman.

Fisiologi konsumsi energi di tempat kerja adalah 2,633387 Kkal/menit pada kategori beban ringan, sehingga membutuhkan waktu istirahat dalam mengayuh 6-7 menit pada setiap pergantian material dalam mesin. Hasil analisis biomekanik penggunaan mesin lama diketahui total pembebanan sebesar 1902.719 N, sedangkan setelah menggunakan mesin hasil redesain total pembebanan turun menjadi 974.793 N. Dengan distribusi gaya minimum pada tangan dan bahu sebesar 288,907 N, punggung 22,171 N, kaki mengayuh 254,541 N, dan kaki istirahat sebesar 147,736 N. Total pembebanan pada kaki menjadi lebih rendah dari yang direkomendasikan oleh NIOSH yaitu 3400 N, sehingga bisa dikatakan pada kategori aman dan nyaman. Jadi, dapat diartikan bahwa produk mesin perontok sebelumnya tidak memenuhi kriteria ergonomis, meskipun hanya untuk skala rumah. Produk hasil redesain sesuai dengan dimensi tubuh petani sehingga redesain dapat diterapkan atau diimplementasikan.

IV. SIMPULAN

Analisis ergonomis menggunakan konsep dasar antropometri dan biomekanik sangat berguna untuk kesehatan di tempat kerja. Dari hasil analisis ergonomi dihasilkan desain baru mesin perontok beras dengan pedal yang lebih aman, nyaman, sehat, efektif, dan efisien. Hal ini dilakukan dengan mengubah bentuk dan dimensi yang disesuaikan dengan

biomekanik tubuh petani Jawa. Hasilnya telah dicocokkan dengan standar NIOSH, dan ternyata kurang dari 3400 N, sehingga dinyatakan aman, sesuai, dan direkomendasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjmand, N., Amini, M., Shirazi-Adl, A., Plamondon, A., & Parnianpour, M. (2015). "Revised NIOSH Lifting Equation May generate spine loads exceeding recommended limits," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 47,1–8.
- Broucha, L. 1989, *Applied Ergonomics Hand Book*. London: Butterworth
- Elfeituri, F. E., & Taboun, S. M. (2002). An evaluation of the niosh lifting equation: A psychophysical and biomechanical investigation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*.
<https://doi.org/10.1080/10803548.2002.11076527>
- Grasgruber, P., Mašanović, B., Prce, S., Popović, S., Arifi, F., Bjelica, D., Bokůvka, D., Cacek, J., Davidović, I., Gardašević, J., Hrazdára, E., Hřebíčková, S., Ingrová, P., Potpara, P., Stračárová, N., Starc, G., & Mihailović, N. (2022). Correction: Mapping the Mountains of Giants: Anthropometric Data from the Western Balkans Reveal a Nucleus of Extraordinary Physical Stature in Europe (*Biology*, (2022), 11, (786), 10.3390/biology11050786). In *Biology*.
<https://doi.org/10.3390/biology11071050>
- Grasgruber, P., Masanovic, B., Prce, S., Popovic, S., Arifi, F., Bjelica, D., Bokuvka, D., Cacek, J., Davidovic, I., Gardasevic, J., Hrazdira, E., Hrebickova, S., Ingrova, P., Potpara, P., Stracarova, N., Starc, G., & Mihailovic, N. M. (2022). Mapping the Mountains of Giants: Anthropometric Data from the Western Balkans Reveal a Nucleus of Extraordinary Physical Stature in Europe. *Biology*.
<https://doi.org/10.3390/biology11050786>
- Habes, D. J., & Putz-Anderson, V. (1985). The NIOSH program for evaluating biomechanical hazards in the workplace. In *Journal of Safety Research*. [https://doi.org/10.1016/0022-4375\(85\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0022-4375(85)90007-6)
- Heru, D.P, (2003), *Perencanaan Ulang Sepeda Perontok Padi dengan memanfaatkan Anthopometri Petani*, (Skripsi S1). Jurusan Teknik Industri ISTA Yogyakarta.
- Nussbaum, M. A., Chaffin, D. B., & Page, G. B. (1995). Biomechanical investigation of the asymmetric multiplier in the revised NIOSH lifting equation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*. <https://doi.org/10.1177/154193129503901036>
- Potvin, J. R. (2014). Comparing the revised NIOSH lifting equation to the psychophysical, biomechanical and physiological criteria used in its development. *International Journal of Industrial Ergonomics*.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.07.003>
- Suryadarma, I. G. P. (2019). Biodiversity and ecological phenomena in Pranatamongso calendar: Basic knowledge and goal for optimizing of crop production in javanese farmers. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012183>
- Wignjosobroto, S. (1995). *Ergonomi Studi Gerak Dan Waktu*. Jakarta: PT. Guna Widya