Journal Of Industrial Engineering & Technology Innovation

Journal of Industrial Engineering & Technology Innovation
JIETI
Vol.04 No.02, 2026| p. 137-147
E-ISSN: 2988-3733 | P-ISSN: 2988-3725

PENILAIAN BEBAN KERJA FISIK DAN WAKTU ISTIRAHAT PEKERJA TUNGKU KAYU INDUSTRI DOLOMIT DENGAN METODE CVL DAN KONSUMSI ENERGI

(Assessment of Physical Workload and Rest Time of Wood-Fired Furnace Workers in the Dolomite Industry Using the CVL Method and Energy Consumption)

Auditya Purwandini Sutarto [1], Salsabila Nur Fika[2], Nailul Izzah[2]

[1] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

[2] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Qomaruddin, Gresik, Indonesia

Corresponding Author: auditya.sutarto@ftmm.unair.ac.id

Article Info

Page :
137 – 147

Submission Date:
22 / Oktober / 2026

Accepted Date:
9 / November / 2026

Published Date:
11 / November / 2026

Keywords: *physical workload, cardiovascular load, energy consumption, rest time, work fatigue*

ABSTRACT

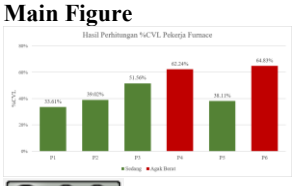
Manual handling in the dolomite processing industry can impose physical workload and fatigue, particularly in hot working environments. This study aimed to measure the physical workload of wood-fuel furnace workers at PT Magnesium Gosari Internasional, determine their rest time requirements, and propose work system improvements. This quantitative descriptive study screened 36 furnace and bagging workers with the Industrial Fatigue Research Committee (IFRC) questionnaire; six furnace workers were purposively selected. Physical workload was assessed using Cardiovascular Load (%CVL) based on heart rate recorded with a smartwatch, while rest time requirements were calculated from energy consumption. %CVL values ranged from 34.2% to 64.9%: four workers were in the improvement required category and two in the allowed to work for a short time category. Mean energy consumption was 7.9 kcal/min, requiring about 129 minutes of rest per shift, versus an actual full rest of about 60 minutes. All measured workers had moderate IFRC fatigue, yet two exceeded 60% CVL, so subjective and physiological assessments should be combined. Proposed improvements include using production waiting time for breaks with light physical demands, plus hierarchy of control measures: cutting wood into smaller pieces, material-handling aids, a recovery area with drinking water, job rotation, manual handling training, and personal protective equipment.

EMAIL

[1]auditya.sutarto@ftmm.unair.ac.id

Kata kunci: *beban kerja fisik, beban kardiovaskular, konsumsi energi, waktu istirahat, kelelahan kerja*

Main Figure



ABSTRAK

Pekerjaan *manual handling* pada industri pengolahan dolomit berpotensi menimbulkan beban kerja fisik dan kelelahan, terlebih pada lingkungan bersuhu panas. Penelitian ini bertujuan mengukur tingkat beban kerja fisik pekerja bagian pembakaran bahan bakar kayu (*furnace*) di PT Magnesium Gosari Internasional, menentukan kebutuhan waktu istirahat, dan merumuskan usulan perbaikan sistem kerja. Penelitian deskriptif kuantitatif ini menyaring 36 pekerja *furnace* dan *bagging* dengan kuesioner *Industrial Fatigue Research Committee* (IFRC); enam pekerja *furnace* dipilih secara purposif sebagai sampel pengukuran. Beban kerja fisik dinilai dengan *Cardiovascular Load* (%CVL) berdasarkan denyut nadi yang direkam dengan *smartwatch*, sedangkan kebutuhan istirahat dihitung dari konsumsi energi. Nilai %CVL berkisar 34,2% hingga 64,9%: empat pekerja masuk kategori diperlukan perbaikan dan dua pekerja kategori diperbolehkan kerja dalam waktu singkat. Rerata konsumsi energi 7,9 kkal/menit dengan kebutuhan

		istirahat sekitar 129 menit per shift, melebihi waktu istirahat penuh aktual sekitar 60 menit. Seluruh pekerja yang diukur berkategori kelelahan sedang menurut IFRC, tetapi dua di antaranya memiliki %CVL di atas 60%, sehingga penilaian subjektif dan fisiologis perlu dipadukan. Usulan perbaikan meliputi pemanfaatan waktu tunggu produksi sebagai jeda dengan beban fisik ringan serta pengendalian berjenjang (*hierarchy of control*), yaitu pemotongan kayu, alat bantu angkut, area pemulihan dengan air minum, rotasi kerja, pelatihan teknik manual handling, dan alat pelindung diri.

PENDAHULUAN

Perkembangan mesin dan teknologi berbasis komputer belum sepenuhnya menggantikan tenaga manusia di lini produksi [1]. Salah satu aktivitas yang masih bergantung pada pekerja adalah *manual handling*, yaitu kegiatan mengangkat, mendorong, atau memindahkan beban dalam jarak tertentu [2,3]. Aktivitas ini berpotensi menimbulkan beban kerja fisik bagi pekerja. Beban kerja fisik adalah tuntutan pekerjaan yang membutuhkan tenaga otot dan energi fisiologis, dan konsumsi energi menjadi salah satu tolok ukur utama berat ringannya suatu pekerjaan [4]. Apabila tuntutan ini melampaui kemampuan pekerja, kelelahan, keluhan muskuloskeletal, penurunan produktivitas, hingga gangguan kesehatan jangka panjang dapat muncul. Aktivitas yang menuntut banyak gerak sepanjang hari dan pengangkatan yang berulang merupakan faktor penting yang mendorong kelelahan kerja [5,6]. Bagi perusahaan, kondisi ini bukan hanya persoalan kesehatan pekerja, tetapi juga persoalan kualitas dan kontinuitas produksi.

Risiko tersebut meningkat ketika pekerjaan dilakukan di lingkungan panas karena tekanan menjadi beban tambahan yang dapat meningkatkan denyut nadi pekerja [7]. Oleh karena itu, pengaturan waktu istirahat merupakan salah satu pengendali yang penting. Kerja terus-menerus tanpa pengaturan kerja dan istirahat yang baik meningkatkan kelelahan [8], sedangkan istirahat yang lebih singkat daripada kebutuhan fisiologis memperbesar risiko penurunan produktivitas, kesalahan kerja, dan kecelakaan kerja [9]. Semakin tinggi konsumsi energi, semakin panjang pula waktu pemulihan yang diperlukan [2].

Kondisi tersebut nyata terjadi pada industri pupuk dolomit. Di PT Magnesium Gosari Internasional, Gresik, pekerja bagian pembakaran bahan bakar kayu (*furnace*) mengangkat dan memasukkan kayu secara manual ke tungku selama delapan jam kerja di area bersuhu tinggi. Pada wawancara awal, pekerja melaporkan pegal pada tangan, punggung, dan kaki, sementara perusahaan belum pernah menghitung kebutuhan waktu istirahat secara ilmiah. Survei awal dengan kuesioner *Industrial Fatigue Research Committee* (IFRC) pada 36 pekerja *furnace* dan *bagging* menempatkan 12 pekerja (33%) pada kategori kelelahan sedang. Keluhan subjektif semacam ini belum cukup untuk menentukan seberapa berat pekerjaan tersebut secara fisiologis. Tanpa pengukuran yang objektif, perusahaan tidak memiliki dasar untuk menilai apakah beban kerja dan pola istirahat saat ini aman bagi pekerjanya.

Penilaian beban kerja fisik secara fisiologis dapat dilakukan dengan denyut nadi, karena denyut nadi mencerminkan respons tubuh terhadap beban kerja sekaligus ikut dipengaruhi tekanan panas lingkungan [10,11]. Secara sederhana, semakin besar kenaikan denyut nadi saat bekerja dibandingkan saat istirahat, semakin berat beban yang ditanggung jantung dan sistem peredaran darah. Metode *Cardiovascular Load* (%CVL) menghitung peningkatan denyut nadi kerja terhadap cadangan denyut nadi dan hasilnya dapat dilengkapi dengan perhitungan konsumsi energi untuk menentukan kebutuhan istirahat [10,12]. Pendekatan ini telah diterapkan pada pekerja gudang bahan baku [13], bongkar muat bahan bangunan [14], operator stasiun perebusan [15], bongkar muat tandan buah segar kelapa sawit [16], dan perakitan manual [17], dengan jumlah sampel 3 hingga 20 pekerja.

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa %CVL dan konsumsi energi dapat dipakai pada berbagai sektor, tetapi dua kesenjangan tetap tersisa. Pertama, konteksnya berbeda. Di antara studi yang dikaji dalam naskah ini, tidak ada yang dilakukan pada pekerja tungku berbahan bakar kayu di industri pupuk dolomit, yaitu pekerjaan yang memadukan pengangkatan manual berulang dengan paparan panas yang terus-menerus. Karakteristik pekerjaan, lingkungan, dan pola waktu kerja yang

berbeda membuat temuan dari gudang, bongkar muat, atau perakitan tidak dapat dipindahkan begitu saja ke pekerja tungku. Kedua, penilaian objektif dan subjektif jarang ditempatkan dalam satu kerangka dengan tindak lanjut yang operasional. Kombinasi %CVL dengan IFRC memang telah dilaporkan pada karyawan sebuah perusahaan manufaktur [10]. Adapun penelitian lain yang dirujuk melaporkan nilai %CVL, konsumsi energi, dan/atau waktu istirahat. Sejauh ini kami belum menemukan di antara studi tersebut usulan jadwal kerja yang disusun dari peta proses kerja dengan memanfaatkan waktu tunggu produksi, dan yang dilengkapi usulan perbaikan melalui pendekatan *hierarchy of control*.

Untuk mengisi kesenjangan ini, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengukur tingkat beban kerja fisik pekerja bagian *furnace* di PT Magnesium Gosari Internasional menggunakan %CVL berdasarkan denyut nadi yang direkam dengan *smartwatch*, (2) menentukan kebutuhan waktu istirahat berdasarkan konsumsi energi, dan (3) merumuskan usulan perbaikan sistem kerja untuk meminimalkan kelelahan fisik. Untuk itu, enam pekerja *furnace* yang dipilih melalui penyaringan IFRC diukur denyut nadinya, dan aktivitas kerja mereka dipetakan dengan peta proses kelompok kerja. Hasil keduanya dibandingkan dengan kelelahan subjektif yang dilaporkan pekerja.

Penelitian ini memberikan tiga kontribusi. Secara empiris, penelitian ini menyajikan data beban kerja fisiologis dari konteks yang belum banyak dilaporkan, yaitu pekerjaan tungku berbahan bakar kayu pada industri pupuk dolomit. Secara metodologis, penelitian ini memadukan penyaringan subjektif, pengukuran fisiologis, perhitungan istirahat berbasis energi, dan pemetaan proses kerja dalam satu alur analisis. Secara praktis, penelitian ini menghasilkan usulan jadwal kerja dan pengendalian risiko yang dapat dipertimbangkan perusahaan, serta dapat menjadi acuan bagi industri sejenis yang menghadapi kombinasi pengangkatan manual dan paparan panas.

METODE

Penelitian ini berdesain deskriptif kuantitatif. Populasi awal terdiri atas 36 pekerja yang melakukan *manual handling* berulang, yaitu 18 pekerja *furnace* dan 18 pekerja *bagging*. Seluruh pekerja tersebut mengisi kuesioner IFRC. Sampel pengukuran dipilih secara purposif [18] dengan kriteria skor IFRC kategori sedang atau lebih tinggi serta tuntutan fisik yang tinggi [19]. Pekerja *bagging* tidak dipilih karena sebagian pekerjaannya dilakukan sambil duduk. Sampel akhir adalah enam pekerja laki-laki bagian *furnace* berusia 21 hingga 45 tahun dengan berat badan 63 hingga 88 kg.

Furnace yang diamati merupakan tungku pembakaran kayu yang berfungsi sebagai sumber panas bagi unit *fluidized bed* pada tahap pengolahan dolomit sebelum dolomit menuju silo dan proses *bagging*. Kayu diangkut oleh *loader* dari gudang (WRH) ke area *furnace*, lalu dimasukkan secara manual oleh pekerja ke tungku. Kayu bakar diperkirakan berukuran panjang 0,5 hingga 1,0 m, dengan massa sekitar 3 hingga 10 kg per batang. Menurut informasi perusahaan, kebutuhan kayu bakar sekitar 4 hingga 5 ton per shift, tetapi data ini tidak dikonfirmasi ulang selama penelitian. Berdasarkan *log sheet* perusahaan, suhu awal *furnace* (T1) sekitar 46 hingga 48 °C dan suhu keluaran *furnace* (T2) berkisar 476 hingga 768 °C selama 24 jam. Suhu di area kerja pekerja tidak diukur. Proses memasukkan kayu ke dalam *furnace* dilakukan secara kontinu selama proses pembakaran berlangsung. Pintu ruang bakar (*firebox*) dibuka saat pengumpanan kayu berlangsung dan ditutup kembali setelah kayu dimasukkan.

Kelelahan subjektif diukur dengan kuesioner IFRC berisi 30 butir, yaitu sepuluh butir tentang pelemahan kegiatan, sepuluh tentang pelemahan motivasi, dan sepuluh tentang gambaran kelelahan fisik. Jawaban dinilai 0 (tidak pernah), 1 (kadang-kadang), 2 (sering), atau 3 (sangat sering) [19]. Total skor 0 hingga 90 diklasifikasikan menjadi rendah (0-21), sedang (22-44), berat (45-67), dan sangat berat (68-90) [20]. Denyut nadi direkam dengan *smartwatch* Mi Band yang berbasis *photoplethysmography* dan menampilkan denyut per menit secara langsung selama bekerja. Perekaman dilakukan pada tiga hari kerja yang tidak berurutan. Denyut nadi istirahat (DNI) diambil pukul 07.00 hingga 07.30 setelah pekerja duduk selama 10 menit. DNK dari ketiga hari pengukuran tersebut dirata-ratakan untuk setiap pekerja. Denyut nadi maksimum (DNMax) dihitung sebagai 220 dikurangi usia untuk laki-laki. Durasi aktivitas dicatat dengan *stopwatch*, sedangkan observasi, foto,

dan video digunakan menyusun peta proses kelompok kerja dengan simbol standar ASME, yaitu operasi, pemeriksaan, transportasi, menunggu, dan penyimpanan [21], untuk mengetahui proporsi waktu kerja, menunggu, dan istirahat. Pengisian kuesioner dan pengukuran denyut nadi dilakukan pada waktu berbeda, tetapi pada periode dengan jenis pekerjaan dan sistem kerja yang sama.

Beban kardiovaskular dihitung sebagai persentase pemakaian cadangan denyut nadi [22]:

$$\%CVL = 100 \times (DNK - DNI)/(DN_{\max} - DNI) \quad (1)$$

Nilai %CVL diinterpretasikan dengan batas <30% (tidak terjadi kelelahan atau kondisi aman), 30% hingga <60% (diperlukan perbaikan atau beban kerja sedang, perlu evaluasi sistem kerja), 60% hingga <80% (diperbolehkan kerja dalam waktu singkat, beban kerja agak berat), dan 80% hingga 100% (diperlukan tindakan perbaikan segera atau beban kerja berat), dan > 100 (aktivitas kerja tidak diperbolehkan dilakukan atau beban kerja sangat berat/bahaya [23]

Pengeluaran energi diestimasi dari denyut nadi, berat badan, dan usia dengan model Keytel [24]:

$$EE = -55{,}0959 + 0{,}6309\ HR + 0{,}1988\ W + 0{,}2017\ A \quad (2)$$

EE (*Energy Expenditure*) adalah pengeluaran energi (kJ/menit), HR (*heart rate*) adalah denyut nadi (denyut/menit), *W* berat badan (kg), dan *A* usia (tahun). Persamaan ini dihitung dua kali per pekerja, yaitu dengan *HR* = DNK untuk energi kerja (EEt) dan HR = DNI untuk energi istirahat (EEi). Hasilnya dikonversi ke kkal/menit dengan 1 kkal = 4,19 kJ.

Konsumsi energi aktivitas kerja dihitung dari selisih keduanya berdasarkan rumus Murrell [25]:

$$KE = EE_t - EE_i \quad (3)$$

Kebutuhan waktu istirahat dihitung dengan persamaan Murrell [25]:

$$R = T \times (KE - s)/(KE - 1{,}5) \quad (4)$$

R adalah waktu istirahat yang diperlukan (menit), T total waktu kerja (menit), KE konsumsi energi (kkal/menit), yaitu rerata seluruh pekerja untuk menghitung kebutuhan istirahat kelompok atau nilai masing-masing pekerja untuk kebutuhan istirahat individu, dan s batas energi yang direkomendasikan untuk kerja delapan jam, yaitu 5,4 kkal/menit untuk pekerja laki-laki Indonesia [23]. T ditetapkan 330 menit, yaitu total durasi aktivitas memasukkan kayu ke *furnace* dalam satu shift menurut peta proses kerja.

Analisis dilakukan secara deskriptif per pekerja. Langkahnya adalah menghitung rerata DNK, %CVL (persamaan 1) beserta kategorinya menurut klasifikasi di atas, EE_t dan EE_i (persamaan 2), *KE* (persamaan 3), dan *R* (persamaan 4). R kemudian dibandingkan dengan waktu istirahat penuh aktual pada peta proses kerja. Usulan perbaikan disusun dengan menempatkan jeda pada waktu tunggu produksi dan diperluas dengan pengendalian berjenjang (*hierarchy of control*) [26].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta proses kelompok kerja (Gambar 1) menunjukkan bahwa pekerja *furnace* memakai 69% waktu untuk bekerja, dan 31% untuk kegiatan menunggu kayu dari *loader* dan proses pembakaran serta istirahat. Selama menunggu, pekerja tetap memeriksa kayu di dalam tungku, bersiap untuk siklus berikutnya, dan sesekali membersihkan mesin, sehingga waktu tersebut belum berfungsi sebagai istirahat penuh. Istirahat penuh hanya terjadi pada pukul 12.00 hingga 13.00 WIB, yaitu sekitar satu jam per shift. Total waktu memasukkan kayu ke tungku adalah 330 menit per shift.

Adapun terkait tingkat kelelahan secara subjektif, dari 36 pekerja *furnace* dan *bagging*, 24 pekerja (67%) berada pada kategori kelelahan rendah dan 12 pekerja (33%) pada kategori sedang. Tidak ada pekerja pada kategori berat atau sangat berat (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan kelelahan subjektif masih dapat ditoleransi, tetapi perlu dipantau. Keenam pekerja *furnace* yang diukur denyut nadinya seluruhnya berada pada kategori sedang (skor 24 hingga 33).



Peta Proses Kelompok Kerja

Pekerjaan : Pembakaran bahan bakar kayu — Dipetakan Oleh : Fika Nur Salsabila
Nomor Peta : — Tanggal Dipetakan :
Sekarang ☑ Usulan ☐

URAIAN PEKERJAAN SATU SIKLUS									PEKERJA
	1	2	3	2	3	2	4	2	P1 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									
	1	2	3	2	3	2	4	2	P2 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									
	1	2	3	2	3	2	4	2	P3 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									
	1	2	3	2	3	2	4	2	P4 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									
	1	2	3	2	3	2	4	2	P5 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									
	1	2	3	2	3	2	4	2	P6 Operasi 330 menit (69%) Menunggu 90 menit Istirahat 60 menit
W	30	90	30	60	30	60	60	120	
J									

URAIAN

1 : Delay 1 : Menunggu kayu dari loader	3 : Menunggu kayu terbakar
2 : Memasukkan kayu ke tungku (*furnace*)	4 : Istirahat

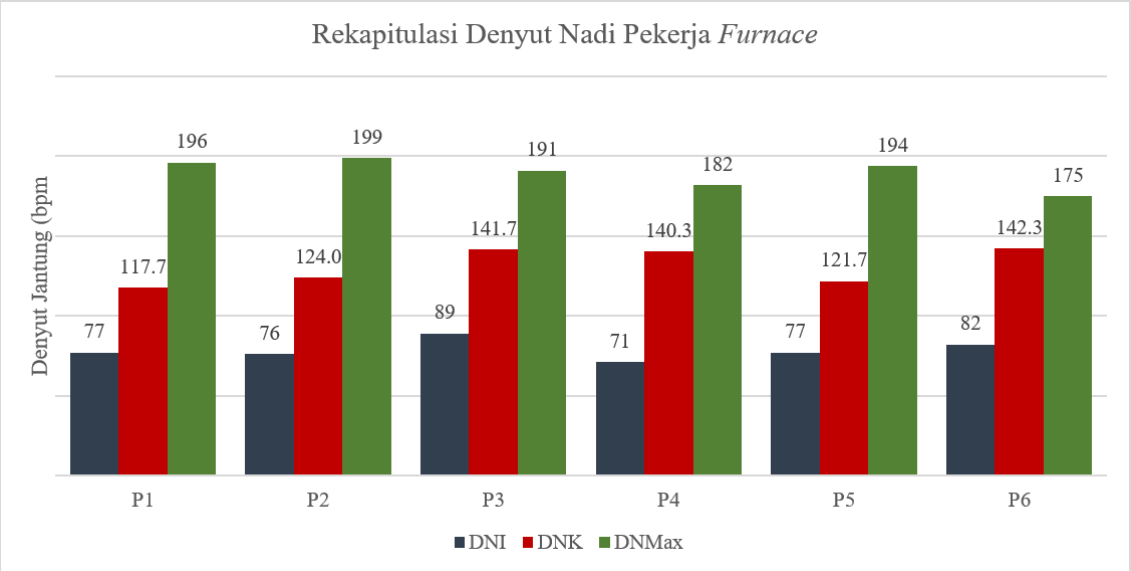
Gambar 1. Peta Proses Kelompok Kerja Pekerja Furnace (P1–P6) pada Satu Siklus Kerja (480 Menit): Operasi 330 Menit (69%), Menunggu 90 Menit, dan Istirahat 60 Menit. Simbol 1: menunggu kayu dari *loader* (WRH ke area tungku), 2: memasukkan kayu ke tungku, 3: menunggu kayu terbakar, 4: istirahat

Tabel 1. Hasil Tingkat Kelelahan Subjektif Pekerja *Furnace* dan *Bagging* Berdasarkan Kuesioner IFRC (n = 36 Pekerja)

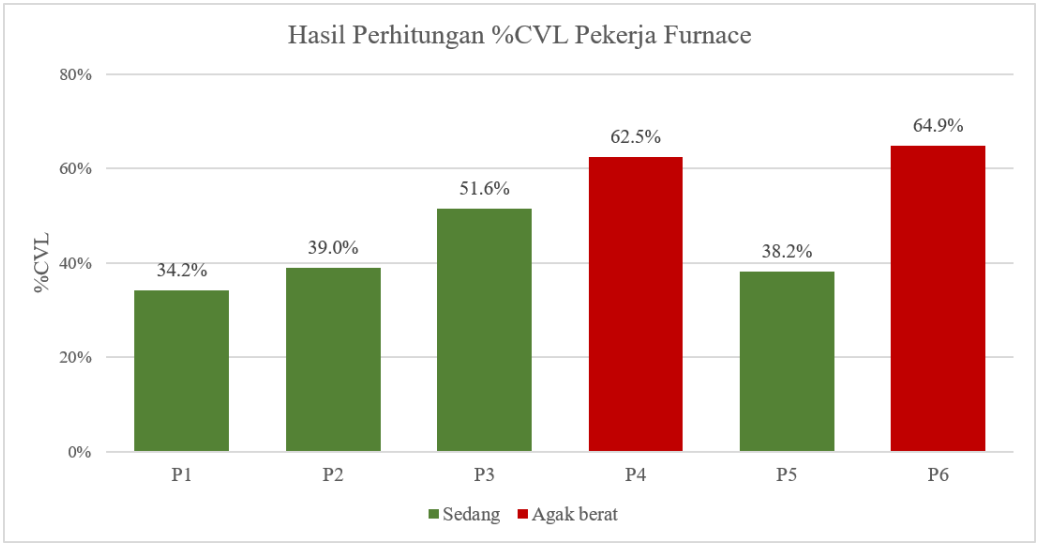
Tingkat Kelelahan	Jumlah Pekerja	Persentase (%)
Kelelahan Kerja Rendah	24	67%
Kelelahan Kerja Sedang	12	33%
Kelelahan Kerja Berat	0	0%
Kelelahan Kerja Sangat Berat	0	0%
Total	36	100%

Denyut Nadi dan Beban Kardiovaskular

Denyut nadi istirahat enam pekerja berkisar 71 hingga 89 denyut/menit, sedangkan rerata denyut nadi kerja berkisar 117,7 hingga 142,3 denyut/menit (Gambar 2). Denyut nadi karena itu naik sekitar 41 hingga 69 denyut/menit selama bekerja. Nilai %CVL berkisar 34,2% hingga 64,9% (Gambar 3). Empat pekerja (P1, P2, P3, dan P5) berada pada kategori diperlukan perbaikan, yaitu 34,2%, 39,0%, 51,6%, dan 38,2%. Dua pekerja (P4 dan P6) berada pada kategori diperbolehkan kerja dalam waktu singkat, yaitu 62,5% dan 64,9%.



Gambar 2. Rekapitulasi Denyut Nadi Enam Pekerja Furnace (P1–P6) dalam Denyut/Menit. DNI: Denyut Nadi Istirahat, DNK: Denyut Nadi Kerja, DNMax: Denyut Nadi Maksimum



Gambar 3. Hasil Perhitungan Beban Kardiovaskular (%CVL) Enam Pekerja Furnace (P1–P6). Batang hijau: kategori diperlukan perbaikan (30% hingga <60%), batang merah: kategori kerja dalam waktu singkat (60% hingga <80%)

Perbedaan antarpekerja tidak sepenuhnya ditentukan oleh denyut nadi kerja. P3, P4, dan P6 memiliki DNK yang hampir sama (140 hingga 142 denyut/menit), tetapi %CVL-nya 51,6%, 62,5%, dan 64,9% (Tabel 3). Selisih ini muncul dari cadangan denyut nadi. P6 berusia 45 tahun sehingga cadangannya paling kecil (93 denyut/menit), sedangkan P4 mengalami kenaikan denyut nadi terbesar (69 denyut/menit). Usia dan kebugaran kemungkinan membuat beban yang sama terasa lebih berat bagi pekerja yang lebih tua, tetapi kebugaran tidak diukur dan pola ini belum diuji. Pekerja dengan

skor IFRC tertinggi (P6, skor 33) juga memiliki %CVL tertinggi, meskipun dengan enam sampel hubungan ini tidak dapat diuji secara statistik. Secara umum, tubuh menerima panas dari lingkungan melalui radiasi dan konveksi, dan melepaskannya melalui konveksi, radiasi, serta penguapan keringat [27]. Keringat memiliki fungsi termoregulasi yang *well-established* [27]. Di sekitar tungku, radiasi dari permukaan tungku dan api serta udara panas kemungkinan menambah beban panas pekerja. Jika pelepasan panas tidak mengimbangi beban panas dan beban kerja, aliran darah ke kulit dan curah jantung meningkat sehingga denyut nadi naik [12]. *Respons ini disebut heat strain, yaitu efek gabungan tekanan panas lingkungan dan internal* [27,28]. Pada pekerja yang terpapar panas, denyut nadi mengikuti tren suhu tubuh dengan jeda singkat dan berkorelasi dengan sebagian besar indeks tekanan panas lingkungan yang dievaluasi [29]. Namun, respons ini bervariasi menurut kebugaran, massa tubuh, dan adaptasi panas. Indeks lingkungan juga tidak selalu berhubungan dengan parameter fisiologis [30]. Karena suhu yang tersedia hanya kisaran suhu furnace dari log sheet perusahaan dan bukan indeks tekanan panas yang diukur bersamaan dengan denyut nadi, kontribusi panas tungku terhadap denyut nadi hanya dapat diestimasi dan sulit dipisahkan dari efek beban fisik pengangkatan kayu.

Dua pekerja tertinggi setara dengan penelitian angkat-angkut (*lifting and carrying*), yaitu pekerja gudang [13], bongkar muat bahan bangunan [14], dan bongkar muat tandan buah segar [16] yang melaporkan sekitar 54% hingga 65%. Tiga pekerja (34% hingga 39%) setara dengan tugas berbeban lebih ringan, yaitu operator stasiun perebusan dan perakitan manual, yang melaporkan sekitar 20% hingga 39% [15,17], sedangkan P3 (51,6%) sedikit di bawah kelompok angkat-angkut. Beban kerja pekerja tungku karena itu bervariasi dari sebanding tugas berbeban lebih ringan hingga setara bongkar muat, dan variasi ini kemungkinan berkaitan dengan karakteristik individu.

Konsumsi Energi

Pengeluaran energi saat kerja berkisar 9,1 hingga 14,6 kkal/menit (rerata 11,6), sedangkan saat istirahat 2,7 hingga 5,5 kkal/menit (rerata 3,7). Konsumsi energi bersih berkisar 6,1 hingga 10,4 kkal/menit dengan rerata 7,9 kkal/menit (Tabel 2). Rerata ini termasuk beban kerja berat dan mendekati sangat berat [11]. Nilai energi ini jauh lebih tinggi daripada yang dikonsumsi oleh operator stasiun perebusan [15], perakitan manual [17], dan bongkar muat bahan bangunan [14]. Pada bongkar muat tandan buah segar [16], dua dari empat nilai yang dilaporkan sebanding, yaitu 8,2 dan 8,7 kkal/menit. Tingginya konsumsi energi sejalan dengan pekerjaan yang menuntut pengangkatan kayu berulang di lingkungan panas.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengeluaran Energi Kerja, Pengeluaran Energi Istirahat, dan Konsumsi Energi Enam Pekerja *Furnace* (kkal/menit)

No	Partisipan	Pengeluaran Energi Kerja	Pengeluaran Energi Istirahat	Konsumsi Energi
1	P1	9,1 kkal/menit	3,0 kkal/menit	6,1 kkal/menit
2	P2	10,1 kkal/menit	2,9 kkal/menit	7,2 kkal/menit
3	P3	12,8 kkal/menit	4,9 kkal/menit	7,9 kkal/menit
4	P4	13,5 kkal/menit	3,1 kkal/menit	10,4 kkal/menit
5	P5	9,4 kkal/menit	2,7 kkal/menit	6,7 kkal/menit
6	P6	14,6 kkal/menit	5,5 kkal/menit	9,1 kkal/menit
	Rerata	**11,6 kkal/menit**	**3,7 kkal/menit**	**7,9 kkal/menit**

Urutan beban relatif dan absolut tidak identik. P4 memiliki konsumsi energi tertinggi (10,4 kkal/menit), sedangkan P6 memiliki %CVL tertinggi. %CVL membandingkan kenaikan denyut nadi dengan cadangan individu, sedangkan konsumsi energi menyatakan kebutuhan energi absolut.

%CVL dan konsumsi energi dihitung dari data denyut nadi yang sama, sehingga kesesuaian keduanya bukan konfirmasi independen.

Penilaian Waktu Istirahat

Dengan T = 330 menit, KE = 7,9 kkal/menit, dan s = 5,4 kkal/menit, kebutuhan istirahat kelompok adalah 128,9 menit per shift [25,31]. Waktu istirahat ini lama dua kali lipat waktu istirahat saat ini (sekitar 60 menit) dan jauh melampaui kebutuhan pekerja gudang, yaitu 32,7 hingga 54,6 menit [13]. Jika dihitung per pekerja dengan rumus yang sama, kebutuhan individu sangat bervariasi yaitu berkisar 50 hingga 185 menit. Tiga pekerja memerlukan waktu istirahat lebih dari 120 menit yaitu P3, P4, dan P6 (Tabel 3).

Sebagaimana diuraikan sebelumnya, konsumsi energi yang tinggi menuntut pemulihan lebih lama dan istirahat yang kurang memperbesar risiko kelelahan, kesalahan kerja, dan kecelakaan [9,11]. Pada kondisi aktual, istirahat penuh hanya terjadi pukul 12.00 hingga 13.00 WIB. Merujuk pada peta proses kelompok kerja (Gambar 1), di luar waktu istirahat, terdapat tiga waktu tunggu masing-masing 30 menit (total 90 menit), yaitu satu periode menunggu kayu dari *loader* di awal siklus (07.00 hingga 07.30 WIB) dan dua periode ketika pekerja tidak memasukkan kayu karena menunggu kayu di dalam tungku terbakar (09.00 hingga 09.30 dan 10.30 hingga 11.00 WIB). Pada kedua periode menunggu kayu terbakar ini pekerja tetap berada di stasiun, memeriksa kayu, bersiap untuk siklus berikutnya, dan sesekali membersihkan mesin, sehingga waktu tunggu belum berfungsi sebagai istirahat efektif. Usulan jadwal mengubah fungsi kedua waktu tunggu pembakaran itu menjadi *briefing* singkat dan pemantauan proses pembakaran, yaitu kegiatan berbeban fisik ringan tanpa pengangkatan kayu. Dengan cara ini jeda tersedia tanpa mengganggu kelancaran produksi secara signifikan. Waktu tunggu kayu dari *loader* di awal siklus tidak diperhitungkan sebagai jeda dalam usulan ini. Namun, jeda tersebut hanya memberi pemulihan parsial karena pekerja masih bertanggung jawab atas proses, sehingga bukan pengganti istirahat penuh. Bahkan jika kedua waktu tunggu pembakaran dihitung penuh dan ditambah istirahat penuh aktual, totalnya 120 menit, masih sekitar 9 menit di bawah kebutuhan kelompok dan jauh di bawah kebutuhan P4 dan P6. Usulan ini karena itu perlu dilengkapi pengendalian lain dan diuji penerapannya, dengan mempertimbangkan kebijakan operasional perusahaan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Cadangan dan Kenaikan Denyut Nadi, %CVL, Konsumsi Energi, dan Kebutuhan Istirahat Enam Pekerja Furnace (P1–P6)

Kode	Usia (tahun)	Cadangan DN (denyut/menit)	Kenaikan DN (denyut/menit)	%CVL	KE (kkal/menit)	Kebutuhan istirahat (menit)
P1	24	119	40,7	34,2	6,1	50
P2	21	123	48,0	39,0	7,2	104
P3	29	102	52,7	51,6	7,9	129
P4	38	111	69,3	62,5	10,4	185
P5	26	117	44,7	38,2	6,7	83
P6	45	93	60,3	64,9	9,1	161

Implikasi Hasil Penelitian

Hasil ini menunjukkan bahwa pola istirahat saat ini belum sesuai dengan beban fisiologis pekerja *furnace*, terutama P4 dan P6. Karena itu, usulan disusun berdasarkan temuan. Rotasi kerja diprioritaskan bagi P4 dan P6, yaitu memindahkan mereka ke tugas berbeban lebih ringan secara bergantian. Pemotongan kayu menjadi ukuran lebih kecil ditujukan untuk menurunkan beban puncak per angkatan, tetapi dapat meningkatkan frekuensi pengangkatan sehingga dampaknya terhadap

konsumsi energi dan %CVL perlu diuji. Pilihan ini sebaiknya dikombinasikan dengan alat bantu angkut seperti *roller conveyor*, dan ukuran kayu yang optimal ditentukan melalui pengukuran ulang %CVL dan KE. Area pemulihan dengan air minum ditujukan untuk membantu pemulihan di lingkungan panas, dengan catatan bahwa peran panas masih merupakan dugaan karena suhu yang tersedia hanya kisaran suhu furnace dari log sheet perusahaan dan bukan indeks tekanan panas. Pelatihan teknik *manual handling* dan alat pelindung diri melengkapi pengendalian [5,26]. Efektivitas usulan dapat dievaluasi dengan mengukur ulang %CVL setelah penerapan, dengan target seluruh pekerja berada di bawah 60%.

Bagi keilmuan, penelitian ini menunjukkan bahwa %CVL, konsumsi energi, dan peta proses kerja dapat dipadukan untuk menerjemahkan beban fisiologis menjadi jadwal kerja pada industri kecil dengan paparan panas. Perangkat murah seperti *smartwatch* membuat pendekatan ini mudah ditiru, dengan syarat perlu diketahui terlebih dahulu validitasnya [6]. Pada pekerjaan tungku kayu di industri pupuk dolomit, beban kerja kini diketahui bervariasi antar pekerja dan kebutuhan istirahat melampaui waktu istirahat penuh yang tersedia. Pekerja yang lebih tua dan bercadangan denyut nadi kecil kemungkinan mengalami beban relatif terbesar. Oleh karena itu jadwal kerja perlu disusun per pekerja, bukan hanya per kelompok.

Keterbatasan dan Rekomendasi Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini hanya melibatkan sampel sebanyak enam pekerja laki-laki dari satu stasiun kerja di satu perusahaan yang dipilih secara purposif, sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasi dan hubungan usia dengan beban kerja tidak dapat diuji. Denyut nadi direkam dengan *smartwatch* konsumen yang belum divalidasi terhadap elektrokardiograf di lapangan. DNMax diestimasi dari usia, dan pengeluaran energi diestimasi dengan persamaan regresi tanpa kalorimetri langsung. Karena %CVL dan konsumsi energi berasal dari data denyut nadi yang sama, keduanya tidak independen. DNK diambil pada tiga hari pengukuran yang tidak berurutan dan dirata-ratakan, bukan dicocokkan dengan tiap aktivitas. Suhu yang tersedia hanya suhu furnace dari log sheet perusahaan, sedangkan suhu area kerja tidak diukur dan tidak ada indeks tekanan panas seperti Wet Bulb Globe Temperature (WBGT); kelembapan juga tidak diukur. Karena jumlah kayu yang diangkat per siklus atau shift juga tidak dihitung, maka pengaruh panas, dan beban angkat hanya dapat diestimasi. Kuesioner IFRC dan denyut nadi diambil pada waktu berbeda. Usulan jadwal dan pengendalian belum diterapkan dan diuji. Secara khusus, efek pemotongan kayu dan alat bantu angkut terhadap frekuensi pengangkatan, konsumsi energi, dan %CVL belum diuji sehingga masih bersifat usulan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah sampel serta mengukur suhu dan WBGT secara bersamaan dengan perekaman denyut nadi, kelembapan, jumlah kayu yang diangkat per siklus atau shift, dan postur kerja, serta menguji efek pemotongan kayu dan alat bantu angkut terhadap frekuensi pengangkatan, konsumsi energi, dan %CVL melalui pengukuran sebelum dan sesudah penerapan.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengukur beban kerja fisik pekerja bagian *furnace* di PT Magnesium Gosari Internasional, menentukan kebutuhan waktu istirahat, dan merumuskan usulan perbaikan sistem kerja. Beban kerja fisik enam pekerja berkisar 34% hingga 65% CVL, dengan empat pekerja pada kategori diperlukan perbaikan dan dua pekerja pada kategori kerja dalam waktu singkat. Kelelahan subjektif IFRC sebagian besar rendah, sehingga pengukuran fisiologis penting sebagai pelengkap. Rerata konsumsi energi 7,9 kkal/menit menghasilkan kebutuhan istirahat sekitar 129 menit per shift, jauh di atas waktu istirahat penuh aktual sekitar 60 menit. Usulan perbaikan berupa pemanfaatan waktu tunggu produksi (09.00 hingga 09.30 dan 10.30 hingga 11.00 WIB) sebagai jeda dengan beban fisik ringan, disertai pengendalian berjenjang: pemotongan kayu, alat bantu angkut, area pemulihan dengan air minum, rotasi kerja, pelatihan teknik manual handling, serta alat pelindung diri. Jeda tersebut belum setara istirahat penuh, sehingga efektivitasnya perlu diuji.

Penelitian lanjutan perlu menambah sampel serta mengukur suhu dan WBGT secara bersamaan dengan perekaman denyut nadi, kelembapan, jumlah kayu yang diangkat per siklus atau shift, dan postur kerja.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Koreis J. Human–robot vs. human–manual teams: Understanding the dynamics of experience and performance variability in picker-to-parts order picking. Comput Ind Eng. 2025 Feb;200:110750. doi:10.1016/j.cie.2024.110750
[2] Abdous MA, Delorme X, Battini D, Sgarbossa F, Berger-Douce S. Assembly line balancing problem with ergonomics: a new fatigue and recovery model. Int J Prod Res. 2023 Feb 1;61(3):693–706. doi:10.1080/00207543.2021.2015081
[3] Sharma NKr, Tiwari M, Thakur A, Ganguli AK. Evaluating biomechanical risks in manual material handling: an ergonomic intervention approach. Ergonomics. 2026 Jul 3;69(7):1146–58. doi:10.1080/00140139.2025.2473678
[4] McCauley P. Ergonomics: Foundational Principles, Applications, and Technologies, Second Edition [Internet]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2025 [cited 2026 Jan 27]. Available from: https://www.taylorfrancis.com/books/9780429342806 doi:10.1201/9780429342806
[5] O. Odebiyi D, Arinze Chris Okafor U. Musculoskeletal Disorders, Workplace Ergonomics and Injury Prevention. In: Korhan O, editor. Ergonomics - New Insights [Internet]. IntechOpen; 2023 [cited 2026 Oct 21]. Available from: https://www.intechopen.com/chapters/84280 doi:10.5772/intechopen.106031
[6] Umer W, Yu Y, Fordjour Antwi Afari M, Anwer S, Jamal A. Towards automated physical fatigue monitoring and prediction among construction workers using physiological signals: An on-site study. Saf Sci. 2023 Oct;166:106242. doi:10.1016/j.ssci.2023.106242
[7] Kamijantono H, Sebayang MM, Lesmana A. Risk Factors and Ergonomic Influence on Musculoskeletal Disorders in the Work Environment. J Medihealtico. 2024 Aug 9;5(3):660–70. doi:10.37899/journallamedihealtico.v5i3.1413
[8] Handayani M, Demiyati C. Hubungan Faktor Individu dan Faktor Pekerjaan Dengan Tingkat Kelelahan Kerja Di Dinas A PT. X Tahun 2022. J Kesehat Masy. 2023;11(4):356–61.
[9] Hidayat W, Ristyowati T, Putro GM. Analisis Beban Kerja Fisiologis sebagai Dasar Penentuan Waktu Istirahat untuk Mengurangi Kelelahan Kerja. OPSI. 2020 Jun 30;13(1):62. doi:10.31315/opsi.v13i1.3469
[10] Dias M, Silva L, Folgado D, Nunes ML, Cepeda C, Cheetham M, et al. Cardiovascular load assessment in the workplace: A systematic review. Int J Ind Ergon. 2023 Jul;96:103476. doi:10.1016/j.ergon.2023.103476
[11] Biswas D, Sau M, Debbarma S, Madhwani KP, Samanta A. Assessment of Physical Workload and Maximum Working Capacity among Workers of Metallurgy Factories Processing Aluminum in Howrah District of West Bengal. Indian J Occup Environ Med. 2026 Jan;30(1):53–8. doi:10.4103/ijoem.ijoem_100_24
[12] Lee SJ, Moon MK, Choi WJ, Jang TW. Exercise and cardiovascular load in workers with high occupational physical activity. Arch Environ Occup Health. 2020 Aug 17;75(6):339–45. doi:10.1080/19338244.2019.1657059
[13] Rizki PN, Aprianto T, Supriyadi E. Analisis Beban Kerja Fisik dengan CVL dan Pengukuran Waktu Istirahat Optimal pada Pekerja Raw Material Warehouse di PT Triman. Sist J Ilm Nas Bid Ilmu Tek. 2025 Jun 30;13(1):55–62. doi:10.53580/sistemik.v13i1.130
[14] Muzakiki MA, Rizqi AW, Priyana ED. Analisis Beban Kerja Fisiologis Pada Karyawan Bongkar Muat Bahan Bangunan Dengan Metode CVL Dan Konsumsi Kalori. J Tek Ind J Has Penelit Dan Karya Ilm Dalam Bid Tek Ind. 2023 Jun 18;9(2):447–53. doi:10.24014/jti.v9i2.23051
[15] Sativa O, Zeki M. Analisis Beban Kerja Fisik Pada Operator Stasiun Perebusan Menggunakan Metode Fisiologi. J Ind Samudra. 2025 Apr 29;6(1):26–31. doi:10.55377/jis.v6i1.11391

[16] Perdana DA, Dewiyana D, Andriani M. Analisis Risiko Kerja dengan Metode Fisiologi pada Pekerja Bongkar Muat Tandan Buah Segar Kelapa Sawit. JISI J Integrasi Sist Ind. 2023 Aug 22;10(2):165–74. doi:10.24853/jisi.10.2.165-174
[17] Sarwoko W, Yusuf M. Pengaturan Lama Waktu Istrahat Menggunakan Penilaian Beban Kerja Fisiologis di Bagian Assembling dan Sewing. J Teknol Dan Manaj Ind Terap. 2026;5(1).
[18] Sugiyono. Metode Penelitian Kuantitatif. Bandung: Penerbit Alfabeta; 2019.
[19] Ramdan IM. Measuring Work Fatigue on Nurses: A Comparison between Indonesian Version of Fatigue Assessment Scale (FAS) and Japanese Industrial Fatigue Ressearch Commite (JIFRC) Fatigue Questionnaire. J Keperawatan Padjadjaran. 2019;7(2):143–53.
[20] Oktavia S, Rahmahwati R, Uslianti. Pengukuran Beban Kerja Fisik dan Tingkat Kelelahan Karyawan PT XYZ Menggunakan Metode CVL dan IFRC. J Tek Ind Univ Tanjungpura. 2021;5(1):205–10.
[21] Putra BI, Jakaria RB. Buku Ajar Analisa Dan Perancangan Sistem Kerja [Internet]. UMSIDA Press; 2020 [cited 2026 Sep 4]. Available from: https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/view/978-623-6081-01-3/714 doi:10.21070/2020/978-623-6081-01-3
[22] Sammito S, Thielmann B, Klussmann A, Deußen A, Braumann KM, Böckelmann I. Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. J Occup Med Toxicol. 2024 May 13;19(1):15. doi:10.1186/s12995-024-00414-9
[23] Yuslistyari EI, Hasanah A, Andhika RD. Analisis Beban Kerja Operator Forklift Berdasarkan %CVL dan NASA TLX. J Ind Dan Teknol Terpadu. 2022;5(1):52–62.
[24] Seo Y, Lee Y, Lee DT. Comparing Heart Rate and Heart Rate Reserve for Accurate Energy Expenditure Prediction Against Direct Measurement. Int J Environ Res Public Health. 2025 Oct 8;22(10):1539. doi:10.3390/ijerph22101539
[25] Afiah IN, Musda DDA, Lantara D, Ahmad A. Analysis of the Physical Workload of Sugarcane Harvest Workers as the Basis for Determining the Length of Rest Break at Bone Arasoe Sugar Factory. J Ind Eng Manag. 2023 Apr 20;8(1):55–64. doi:10.33536/jiem.v8i1.1278
[26] Ajslev JZN, Møller JL, Andersen MF, Pirzadeh P, Lingard H. The Hierarchy of Controls as an Approach to Visualize the Impact of Occupational Safety and Health Coordination. Int J Environ Res Public Health. 2022 Feb 26;19(5):2731. doi:10.3390/ijerph19052731
[27] Lim CL. Fundamental Concepts of Human Thermoregulation and Adaptation to Heat: A Review in the Context of Global Warming. Int J Environ Res Public Health. 2020 Oct 24;17(21):7795. doi:10.3390/ijerph17217795
[28] Morris NB, Jay O, Flouris AD, Casanueva A, Gao C, Foster J, et al. Sustainable solutions to mitigate occupational heat strain – an umbrella review of physiological effects and global health perspectives. Environ Health. 2020 Dec;19(1):95. doi:10.1186/s12940-020-00641-7
[29] Ioannou LG, Tsoutsoubi L, Mantzios K, Vliora M, Nintou E, Piil JF, et al. Indicators to assess physiological heat strain – Part 3: Multi-country field evaluation and consensus recommendations. Temperature. 2022 Jul 3;9(3):274–91. doi:10.1080/23328940.2022.2044739
[30] Afshari D, Moradi S, Ahmadi Angali K, Shirali GA. Estimation of Heat Stress and Maximum Acceptable Work Time Based on Physiological and Environmental Response in Hot-Dry Climate: A Case Study in Traditional Bakers. Int J Occup Environ Med. 2019 Oct 1;10(4):194–202. doi:10.15171/ijoem.2019.1582
[31] Agustina PW, Andriani M, Dewiyana. Penentuan Waktu Istirahat Untuk Meminimalisir Kelelahan Petani Menggunakan Metode Fisiologi. J Ilm Tek Ind Dan Inov. 2023 Jul 15;1(3):1–9. doi:10.59024/jisi.v1i3.287