



Dampak Pengaruh *Thermal* Terhadap Beban Kerja Fisik Pekerja Melalui Pendekatan Fisiologis di PT. ABC, Aceh Tamiang

Meri Andriani^{1*}, Yusnawati¹, Muhammad Zeki¹, Nurmalawati¹, Dewiyana¹, Moro S Gusriani¹
Program Studi Teknik Industri, Universitas Samudra, Jl. Prof. Dr. Syarief Thayeb, Meurandeh,
Kec. Langsa Lama, Kota Langsa, 24416 Aceh, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
55 – 66

Tanggal penyerahan:
5 Maret 2026

Tanggal diterima:
22 September 2026

Tanggal terbit:
30 September 2026

EMAIL

meri_tind@unsam.ac.id

*) Corresponding Author

ABSTRACT

Heat exposure on the production floor is one of the hazards workers face during palm oil processing. It comes mainly from several machines on the floor, raising heart rate, speeding up the onset of fatigue, and disrupting workers' physiological condition. This study set out to analyze the environmental temperature on the production floor and workers' cardiovascular load, and to determine how environmental temperature affects their physiology. The methods used were the heat stress index, cardiovascular load, and simple regression analysis. Results showed the highest heat stress index was recorded at the boiler station, at 143%. Eleven workers across the work stations fell into the "improvement needed" category for cardiovascular load. Temperature had a positive effect on workers' heart rate, with a coefficient of 0.010; each 1°C rise in temperature was estimated to increase heart rate by 2.18 beats per minute.

Keywords: Heat Stress Index (HSI), Cardiovascular Load (%CVL), Worker Physiology

ABSTRAK

Paparan panas yang ditemukan di lantai produksi PT. ABC ini merupakan salah satu bahaya yang dihadapi pekerja dalam proses pengolahan kelapa sawit. Kondisi ini terutama berasal dari beberapa mesin di lantai produksi, sehingga meningkatkan denyut nadi, mempercepat timbulnya kelelahan, serta mengganggu kondisi fisiologis pekerja. Tujuan penelitian, adalah menganalisis suhu lingkungan di lantai produksi dan tingkat kardiovaskular serta menentukan pengaruh suhu lingkungan terhadap fisiologi pekerja. Metode yang digunakan adalah heat stress index, cardiovascular load, dan uji regresi sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat heat stress index pekerja paling tinggi terdapat di stasiun boiler dengan nilai 143%. Kategori tindakan "diperlukan perbaikan" untuk beban kardiovaskular ditemukan pada 11 pekerja di setiap stasiun kerja. Adanya pengaruh positif suhu terhadap denyut nadi pekerja sebesar 0,010. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C diperkirakan meningkatkan denyut nadi sebesar 2,18 denyut/menit.

Kata Kunci: Heat Stress Index (HSI), Cardiovascular Load (%CVL), Fisiologi Pekerja.

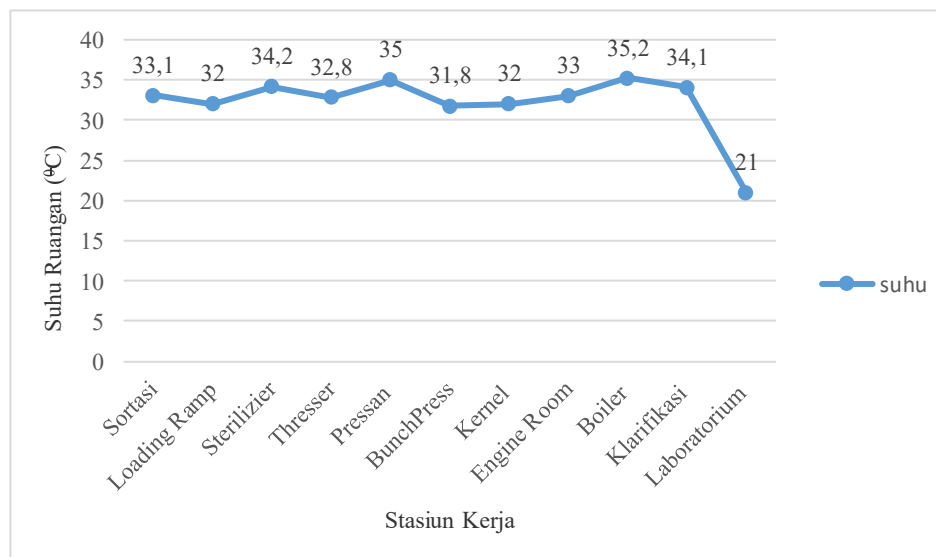
PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang berperan penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia. Selain digunakan sebagai bahan baku minyak pangan, kelapa sawit juga dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan industri. Indonesia sebagai salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia memiliki industri kelapa sawit yang mampu menyerap sekitar 16 juta tenaga kerja, baik secara langsung maupun tidak langsung [1]. Pada tahun 2018, produksi minyak sawit dan inti sawit Indonesia mencapai 48,68 juta ton, yang terdiri atas 40,57 juta ton crude palm oil (CPO) dan 8,11 juta ton palm kernel oil [2]. Sebanyak 35% produksi tersebut berasal dari perkebunan rakyat, 5% dari perkebunan besar negara, dan 60% dari perkebunan besar

swasta. Tingginya aktivitas industri ini perlu diimbangi dengan perlindungan terhadap keselamatan, kesehatan, dan kenyamanan pekerja.

Paparan panas merupakan salah satu bahaya yang dihadapi pekerja dalam proses pengolahan kelapa sawit. Kondisi ini terutama berasal dari mesin produksi, proses perebusan, dan pembakaran pada ketel uap [3]. Paparan yang berlangsung selama jam kerja dapat meningkatkan denyut nadi, mempercepat timbulnya kelelahan, serta mengganggu kondisi fisiologis pekerja. Lingkungan kerja yang kurang nyaman juga dapat menurunkan produktivitas kerja [4,5], dengan demikian, pengukuran kondisi termal perlu disertai dengan penilaian respons fisiologis pekerja agar tingkat risiko pada setiap stasiun kerja dapat ditentukan secara tepat.

Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) PT ABC merupakan perusahaan swasta yang bergerak dalam pengolahan CPO di Kabupaten Aceh Tamiang. Selain menghasilkan CPO, perusahaan ini juga memproduksi inti sawit (kernel) dan cangkang. Proses produksi berlangsung pada 11 stasiun kerja, yaitu sortasi, loading ramp, perebusan (sterilizer), thresher, pengempaan (press), bunch press, kernel, engine room, boiler, klarifikasi, serta laboratorium dan water treatment plant. Berdasarkan pengamatan awal, beberapa pekerja mengalami kelelahan sebelum waktu istirahat. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan tingginya suhu pada sejumlah stasiun kerja, Gambar 1.



Gambar 1. Suhu di Lantai Produksi

Gambar 1 menunjukkan bahwa suhu di lantai produksi berkisar antara 31,8°C dan 35,2°C. Suhu tertinggi ditemukan pada stasiun boiler, yaitu 35,2°C, sementara itu, suhu terendah terdapat pada laboratorium dan *water treatment plant (WTP)*, yaitu 21°C. Menurut Permenaker No. 5 Tahun 2018, Nilai Ambang Batas (NAB) iklim kerja untuk beban kerja ringan sekitar 31°C [6], dan sepuluh dari sebelas stasiun pada Gambar 1 berada di atas ambang tersebut, hal ini menyebabkan munculnya gejala heat strain.

Kondisi ini mengindikasikan adanya tekanan panas pada sejumlah stasiun kerja, tetapi penilaian yang dilakukan selama ini baru sebatas pengukuran suhu ruang dan denyut nadi kerja secara deskriptif. Data tersebut belum menunjukkan seberapa besar tekanan panas yang sebenarnya diterima tubuh pekerja atau seberapa berat beban kardiovaskular yang ditimbulkannya pada tiap stasiun. Perusahaan pun belum punya dasar objektif untuk menentukan stasiun mana yang paling perlu segera ditangani, jenis pengendalian panas yang cocok, atau pengaturan waktu kerja-istirahat yang sesuai. Jika tekanan panas dan beban kardiovaskular ini dibiarkan tanpa diidentifikasi, risiko gangguan kesehatan akibat panas dan penurunan produktivitas kerja bisa meningkat, terutama di stasiun dengan sumber panas tinggi seperti boiler dan sterilizer.

Untuk menjawab persoalan ini, penelitian menggunakan pendekatan termal yang mengukur tekanan panas dan beban kardiovaskular pekerja secara kuantitatif. Heat Stress Index (HSI) dipakai untuk menilai tingkat tekanan panas berdasarkan keseimbangan panas tubuh terhadap lingkungan kerja, sedangkan Cardiovascular Load (%CVL) dipakai untuk menentukan beban fisiologis pekerja dari peningkatan denyut nadi kerja terhadap denyut nadi maksimum. Penelitian

ini bertujuan menganalisis tingkat tekanan panas berdasarkan HSI, menilai beban fisiologis pekerja menggunakan %CVL, dan menguji pengaruh suhu lingkungan serta berat badan terhadap denyut nadi kerja di tiap stasiun produksi. Hasilnya diharapkan bisa menjadi acuan bagi perusahaan untuk menentukan stasiun kerja yang perlu diprioritaskan, mengatur waktu kerja-istirahat, dan memilih tindakan pengendalian panas yang tepat sasaran.

METODE

1. Ergonomi

Ergonomi dapat didefinisikan sebagai suatu disiplin yang mengkaji keterbatasan, kelebihan, serta karakteristik manusia, dan memanfaatkan informasi tersebut dalam merancang produk, mesin, fasilitas, lingkungan dan bahkan sistem kerja [7,8]. Tujuan utama tercapainya kualitas kerja yang terbaik tanpa mengabaikan aspek kesehatan, keselamatan, serta kenyamanan penggunaannya [9].

2. Thermal

Kondisi termal lingkungan kerja merupakan perpaduan antara temperatur udara, temperatur radiasi, kelembapan relatif, dan kecepatan udara yang secara bersama-sama dapat memengaruhi kenyamanan dan kesehatan pekerja [10,11].

3. Keseimbangan Panas

Tekanan panas (*heat stress*) dapat muncul apabila jumlah panas yang diproduksi oleh tubuh melebihi kapasitas tubuh dalam melepaskan panas tersebut ke lingkungan [12]. ASHRAE (1989) memberikan persamaan keseimbangan panas [13].

Suhu permukaan tubuh saat berpakaian dan tidak berpakaian dihitung dengan:

$$F_{cl} = 1 + 0,31clo = 1 + \frac{0,31 Rcl}{0,155} \dots\dots\dots(1)$$

F_{cl} = Faktor area pakaian

clo = Insulasi pakaian

Rcl = daya tahan panas pakaian (m^2KW-1)

Menentukan jenis dan jumlah pakaian dihitung dengan:

$$P_{sk,s} = \exp \left(18,956 - \frac{4030,18}{tsk+235} \right) mb \dots\dots\dots(2)$$

tsk = suhu kulit rata-rata ($^{\circ}C$)

Menentukan pakaian standar aktivitas dihitung dengan:

$$P_{sa} = \exp \left(18,956 - \frac{4030,18}{ta+235} \right) mb \dots\dots\dots(3)$$

ta = Suhu udara ($^{\circ}C$)

Menentukan pakaian akhir (hasil akhir) dihitung dengan[14]:

$$P_a = Rh \times P_{sa} \dots\dots\dots(4)$$

Rh = Kelembapan relatif

P_{sa} = Pakaian standar aktivitas

Koefisien perpindahan panas dihitung dengan :

$$h_c = 8,3.v^{0,6} \dots\dots\dots(5)$$

v = Kecepatan udara

$$h_e = 16,5 \times h_c \dots\dots\dots(6)$$

Suhu permukaan tubuh yang tertutupi permukaan pakaian dihitung dengan[13]:

$$T_c = \frac{\frac{1}{Rcl}tsk + f_{cl}(h_c t_a + h_r t_r)}{\frac{1}{Rcl} + f_{cl}(h_c + h_r)} \dots\dots\dots(7)$$

Rcl = daya tahan panas pakaian (m^2KW-1)

tsk = suhu kulit rata-rata ($^{\circ}C$)

F_{cl} = Faktor area pakaian

h_c = Koefisien perpindahan panas

t_a = Suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

h_r = Koefisien perpindahan panas radiatif

t_r = Suhu radian rata-rata

Suhu operatif dihitung dengan rumus:

$$\text{Operative temperatur } (t_o) = \frac{(h_r t_r + h_c t_a)}{(h_r + h_c)} \dots\dots\dots(8)$$

Kombinasi perpindahan panas dihitung dengan rumus:

$$H = h_c + h_r \dots\dots\dots(9)$$

Perhitungan komponen persamaan keseimbangan panas dihitung dengan [15]:

$$C + R = \frac{(t_{sk} - t_o)}{\left(R_{cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h}\right)} \dots\dots\dots(10)$$

h = Kombinasi perpindahan panas

t_o = Suhu operatif

Total penguapan dari kulit dihitung dengan rumus:

$$E_{sk} = \frac{w(P_{sk,s} - P_a)}{\left(R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_e}\right)} \dots\dots\dots(11)$$

$P_{sk,s}$ = Jenis dan jumlah pakaian

h_e = Penukaran panas

$$C_{res} + E_{res} = 0,0014 M (34 - t_a) + 0,0173 M (5,87 - P_a) \dots\dots\dots(12)$$

C_{res} = Tingkat kehilangan panas konvektif dari pernapasan

E_{res} = Tingkat kehilangan panas penguapan dari pernapasan

Maka, persamaan *heat balace* akan menjadi[16]:

$$M - W = C + R + E_{sk} + C_{res} + E_{res} \dots\dots\dots(13)$$

Kebasahan yang dibutuhkan untuk keseimbangan dihitung dengan:

$$W_{req} = \frac{E_{req}}{E_{max}} \dots\dots\dots(14)$$

E_{req} = Energi yang dikeluarkan

E_{max} = Energi maksimum

$$\text{Jadi, } E_{req} = W_{req} \times E_{max} \dots\dots\dots(15)$$

$$W_{req} = w$$

r adalah efisiensi dari keringat, nilai r menyatakan beberapa keringat yang menetes dan panasnya tidak hilang sesuai ISO 7933 menggunakan rumus:

$$r = 1 - \frac{w}{2} \dots\dots\dots(16)$$

Keringat yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai:

$$S_{req} = \frac{E_{req}}{r} W_m \dots\dots\dots(17)$$

Nilai HSI (*Heat Stress Index*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus[17]:

$$\text{Heat Stress Index (HSI)} = \frac{E_{req}}{E_{max}} \times 100\% \dots\dots\dots(18)$$

Acuan standard untuk ambang nilai Heat Stress Index (HSI), Tabel 1.

Tabel 1. Standard Ambang Nilai Heat Stress Index

Heat StressIndex (HSI)	Efek dari Paparan 8 Jam
-20	Tegangan dingin yang ringan.
0	Tidak ada tagangan panas.
0-30	Tegangan panas yang ringan sampai sedang, sedikit efek pada pekerja yang terampil.
40 - 60	Tegangan panas yang tinggi, termasuk ancaman bagi kesehatan perlu penyesuaian dengan fisik fit yang harus dibutuhkan.
70 - 90	Ketegangan panas yang sangat parah sehingga pekerja harus melakukan pemeriksaan medis atau diberikannya asupan air dan garam yang memadai.
100	Ketegangan maksimum yang ditoleransi setiap hari dengan penyesuaian orang muda yang fit.
>100	Batasan waktu untuk paparan panas yang dapat meningkatkan suhu tubuh pada bagian dalam.

4. Cardiovascular Load (%CVL)

Cardiovascular Load (% CVL) suatu estimasi untuk menentukan klasifikasi beban kerja fisik[18], berdasarkan peningkatan denyut nadi kerja yang dibandingkan dengan denyut nadi maksimum, yang dapat dihitung dengan persamaan[19].

$$\% CVL = \frac{100 \times (\text{denyut nadi} - \text{denyut nadi istirahat})}{\text{denyut nadi maksimum} - \text{denyut nadi istirahat}} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

Laki-laki: Denyut nadi maksimum = 220 – umur

Perempuan : Denyut nadi maksimum = 200 – umur [20]

Acuan standar untuk ambang kategori %CVL terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standard Ambang Kategori % CVL

% CVL	Penanganan
$X \leq 30 \%$	Tidak terjadi kelelahan
$30 \% \leq X \leq 60 \%$	Diperlukan perbaikan
$60 \% \leq X \leq 80 \%$	Kerja dalam waktu singkat
$80 \% \leq X \leq 100 \%$	Diperlukan tindakan segera
$X > 100 \%$	Tidak diperbolehkan beraktivitas

5. Uji Regresi Linier

Analisis regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk memahami hubungan antara satu variabel dependen (Y) dengan dua atau lebih variabel independen ($X_1, X_2, \dots, X_p$)[21]. Uji regresi linier yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Uji Normalitas Residual

Uji normalitas adalah untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel terikat (*dependent variable*) dan variabel bebas (*independent variable*) keduanya memiliki distribusi normal atau tidak. Uji normalitas yang digunakan adalah uji Shapiro–Wilk, tetapi yang diuji adalah residual regresi, bukan data suhu atau denyut nadi secara terpisah

Ketentuan:

Jika $p\text{-value} > 0,05$ maka data berdistribusi normal, namun

Jika $p\text{-value} \leq 0,05$, maka data tidak berdistribusi normal.

b. Uji Autokorelasi Residual

Uji autokorelasi residual dilakukan untuk mengetahui apakah residual pada satu pengamatan memiliki hubungan dengan residual pada pengamatan lainnya. Model regresi yang baik mensyaratkan residual bersifat independen atau tidak saling berkorelasi. Dalam penelitian ini, autokorelasi residual diperiksa menggunakan uji Durbin–Watson. Nilai Durbin–Watson berada pada rentang 0–4. Nilai yang mendekati 2 menunjukkan bahwa residual tidak mengalami autokorelasi, sedangkan nilai yang mendekati 0 mengindikasikan autokorelasi positif dan nilai yang mendekati 4 mengindikasikan autokorelasi negatif. Selain itu, keputusan dapat didasarkan pada nilai signifikansi, yaitu [22] :

$p\text{-value} > 0,05$ menunjukkan tidak terdapat autokorelasi residual,

$p\text{-value} \leq 0,05$ menunjukkan adanya autokorelasi residual.

c. Uji Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan linier antara satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui arah hubungan, memperkirakan besarnya perubahan variabel terikat akibat perubahan variabel bebas, serta menilai apakah hubungan tersebut signifikan secara statistik.

Ketentuan:

$p\text{-value} < 0,05$ menunjukkan adanya pengaruh positif,

$p\text{-value} \geq 0,05$ menunjukkan tidak adanya pengaruh [23].

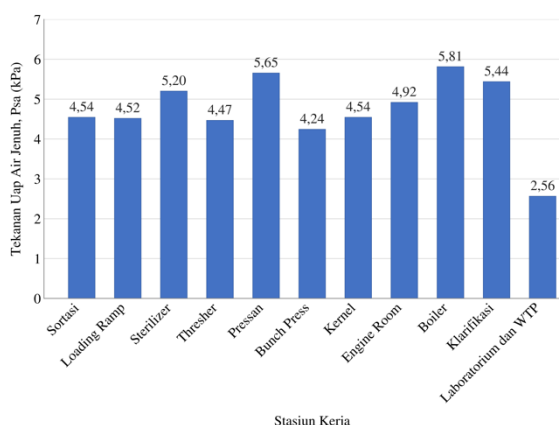
6. Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang digunakan merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif [24], yaitu menganalisis data secara sistematis dengan analisis yang digunakan ialah analisis persentase dan kecenderungan. Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data, pengolahan hingga analisis permasalahan untuk saran perbaikan terhadap permasalahan yang diteliti.

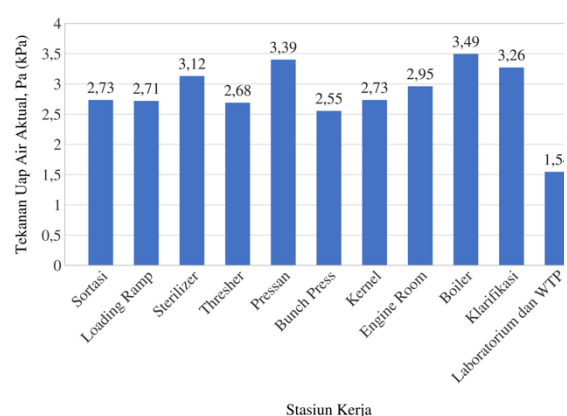
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pembahasan Data Suhu Area Kerja

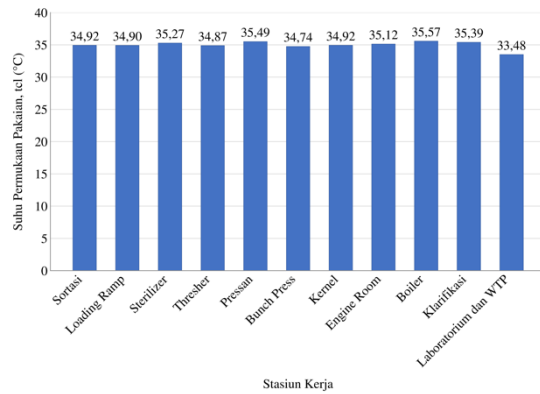
Nilai insulasi pakaian pekerja pria pada penelitian ini sebesar 0,87 clo, diperoleh dari persamaan pada bagian Metode. Nilai tersebut menjadi dasar penghitungan komponen keseimbangan panas tubuh pekerja pada sebelas stasiun kerja, mulai dari rasio permukaan tubuh berpakaian (F_{cl}), tekanan uap kulit (P_{sk}), tekanan uap udara standar aktivitas (P_{sa}) dan aktual (P_a), koefisien perpindahan panas konveksi dan radiasi, suhu permukaan pakaian (T_{cl}), suhu operatif (t_o), komponen konveksi-radiasi ($C+R$), penguapan kulit (E_{sk}), dan kehilangan panas respirasi ($C_{res}+E_{res}$), sampai kebutuhan kerja evaporatif (W_{req}), kelembaban yang dibutuhkan (E_{req}), efisiensi keringat (r), dan laju keringat yang dibutuhkan (S_{req}). Rekapitulasi nilai masing-masing komponen disajikan pada Gambar 3 sampai 13.



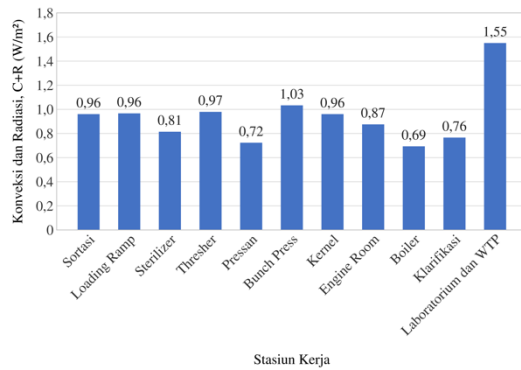
Gambar 3. Rekapitulasi Nilai Psa



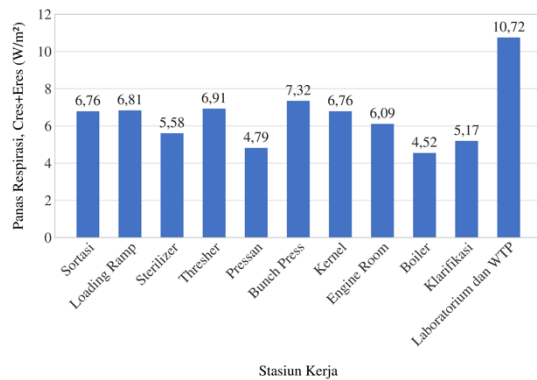
Gambar 4. Rekapitulasi Nilai Pa



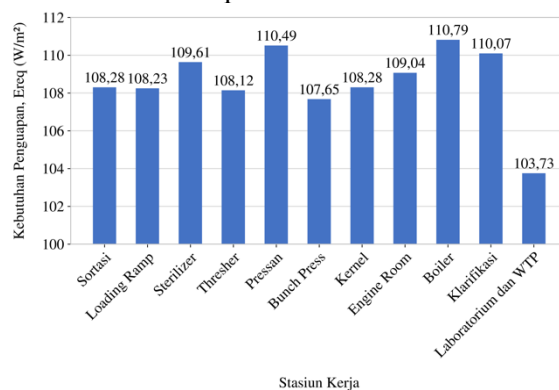
Gambar 5. Rekapitulasi Nilai Tcl



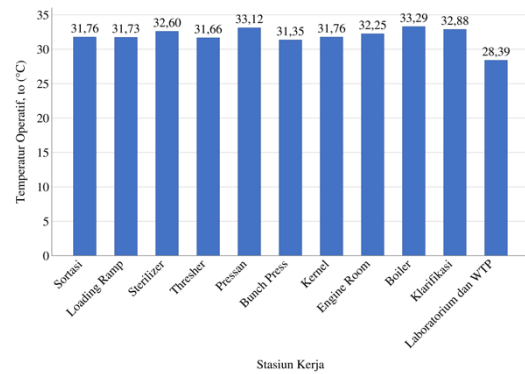
Gambar 7. Rekapitulasi C+R



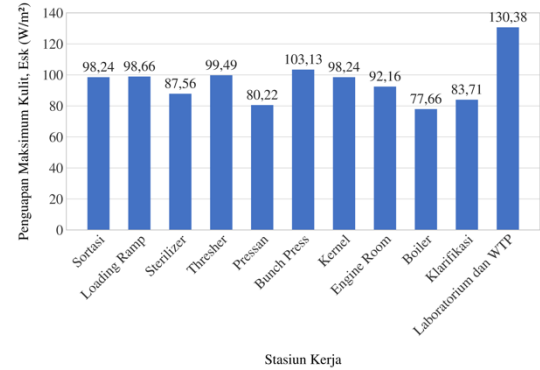
Gambar 9. Rekapitulasi Nilai Cres +Eres



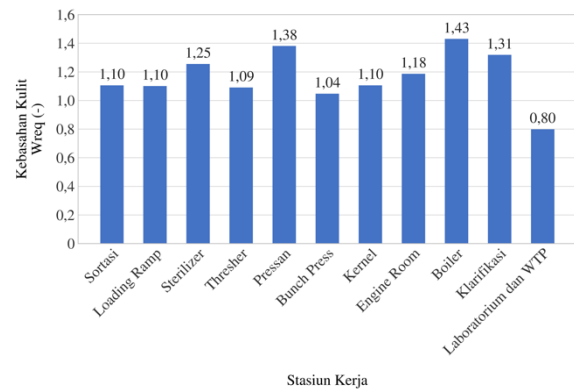
Gambar 11. Rekapitulasi Nilai Ereg



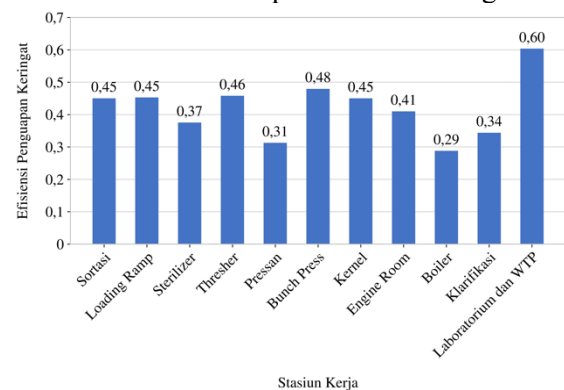
Gambar 6. Rekapitulasi Nilai to



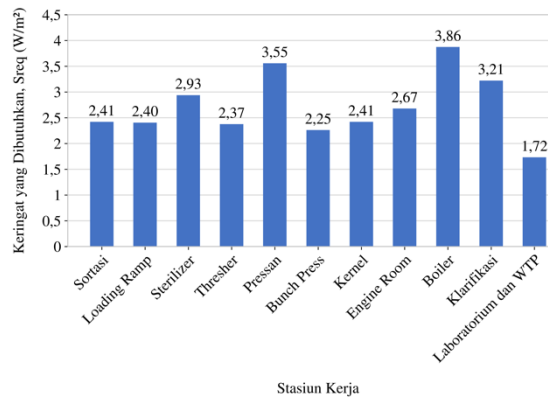
Gambar 8. Rekapitulasi Esk



Gambar 10. Rekapitulasi Nilai Wreg



Gambar 12. Rekapitulasi Nilai r



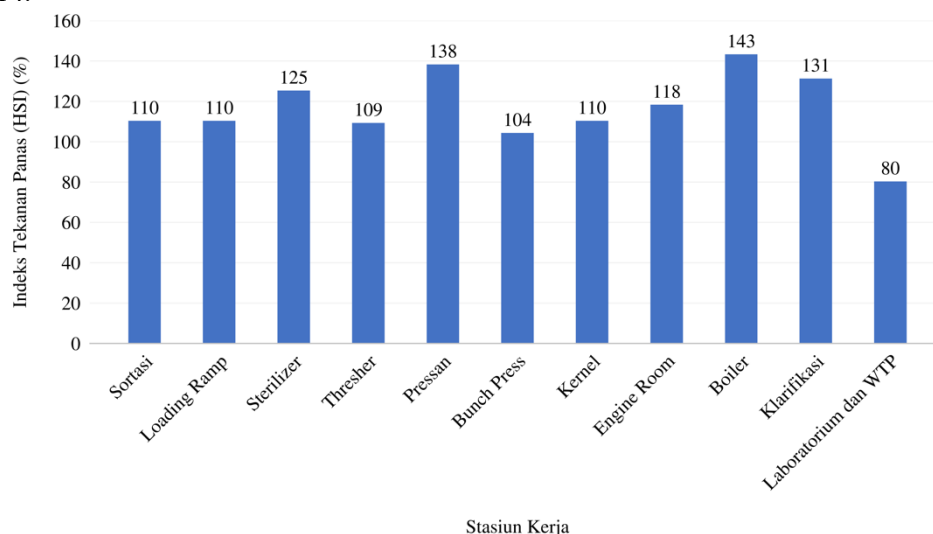
Gambar 13. Rekapitulasi Nilai Sreq

Gambar 3 sampai Gambar 13 menunjukkan dua pola yang berlawanan antara stasiun Boiler dan stasiun Laboratorium dan WTP. Untuk variabel yang berkaitan dengan beban panas, stasiun Boiler selalu berada di posisi tertinggi: P_{sa} mencapai 5,8, P_{pa} 3,4, suhu permukaan pakaian (T_{cl}) 35,57°C, dan suhu operatif (t_o) 33,29°C, sementara keempatnya justru paling rendah di stasiun Laboratorium dan WTP, masing-masing hanya 2,5; 1,5; 33,40°C; dan 28,39. Hal yang sama terjadi pada kebutuhan tubuh untuk berevaporasi: W_{req} di Boiler mencapai 1,43, E_{req} 110,79, dan S_{req} 3,865, jauh di atas nilai terendahnya di Laboratorium dan WTP, yaitu 0,80; 103,73; dan 1,722.

Kondisinya berbalik total kalau dilihat dari sisi kemampuan tubuh untuk melepaskan panas. Justru stasiun Laboratorium dan WTP yang unggul di sini: $C+R$ mencapai 1,55, E_{sk} 130,38, $C_{res}+E_{res}$ 10,72, dan efisiensi keringat (r) 0,60, sedangkan Boiler malah paling rendah di semua komponen ini: 0,69 untuk $C+R$, 77,66 untuk E_{sk} , 4,52 untuk $C_{res}+E_{res}$, dan 0,29 untuk r . Artinya, panas yang tinggi di stasiun boiler bukan cuma membebani tubuh pekerja lebih berat, tapi juga membuat tubuh makin sulit membuang panas itu kembali ke lingkungan sekitarnya [26,27].

Heat Stress Index (HSI)

Nilai Heat Stress Index (HSI) untuk setiap stasiun kerja dihitung dari rumus yang sudah dijelaskan dibagian metode, yaitu perbandingan antara kebasahan yang dibutuhkan (E_{req}) dengan energi maksimum yang mampu dikeluarkan tubuh (E_{max}). HSI ini sebenarnya merangkum semua komponen keseimbangan panas yang sudah dibahas di atas, jadi wajar kalau pola yang sama juga muncul di hasil akhirnya: stasiun dengan beban panas tinggi dan kapasitas pelepasan panas yang sempit akan punya HSI paling besar. Rekapitulasi nilai HSI untuk sebelas stasiun kerja ada pada Gambar 14.



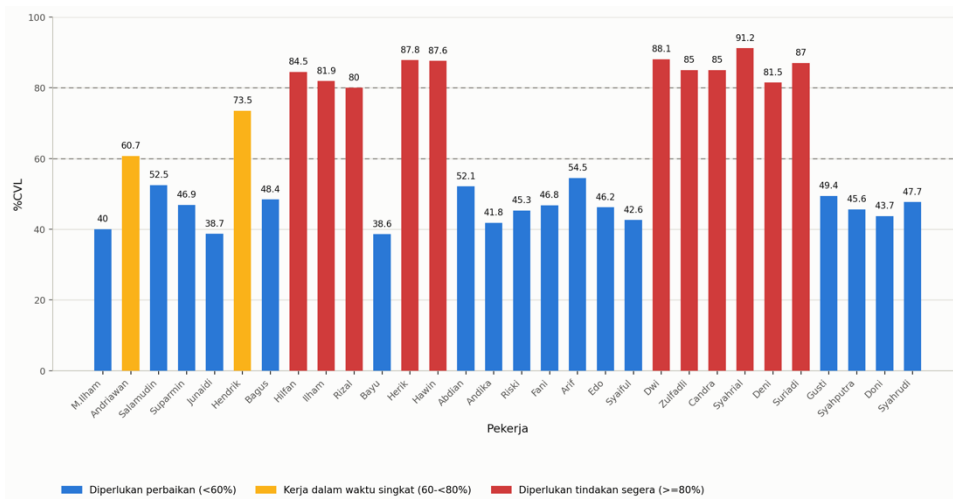
Gambar 14. Rekapitulasi Nilai Heat Stress Index (HSI)

Gambar 14. menunjukkan bahwa tingkat *heat stress index* (HSI) paling tinggi berada pada stasiun boiler dengan nilai 143%, stasiun klarifikasi dengan nilai 131%, stasiun *pressan* dengan nilai 138%, stasiun *sterilizier* 125%, stasiun *engine room* 118%, stasiun sortasi, stasiun *loading ramp*, dan stasiun kernel memiliki nilai yang sama yaitu 110%, stasiun *thresher* 109%, stasiun *bunch press* 104%, dan terakhir stasiun laboratorium dan WTP dengan nilai 80%, ini membuktikan bahwa semua tingkat *heat stress index* yang didapat membuat para pekerja merasa kegerahan dengan kondisi lingkungan kerja yang panas dan meningkatkan stres akibat suhu yang tinggi [27].

Temuan semacam ini juga muncul di penelitian-penelitian tekanan panas yang lebih baru. Rachid dan Qureshi [28] mencatat bahwa dari puluhan indeks tekanan panas yang dipakai di berbagai negara, HSI berbasis keseimbangan panas seperti yang dipakai di penelitian ini masih termasuk indeks yang diakui untuk menilai kondisi kerja di lingkungan panas, karena langsung memasukkan variabel metabolisme dan pertukaran panas konvektif-radiatif, bukan cuma suhu dan kelembapan udara. Ferrari dkk. [29] bahkan menganalisis hampir 500 ribu catatan kecelakaan kerja di Brazil, dan mendapati nilai indeks tekanan panas yang tinggi konsisten berkaitan dengan kluster risiko kecelakaan tertinggi, terutama pada pekerja dengan tuntutan fisik berat. Di industri kelapa sawit Indonesia sendiri, beban fisiologis berat akibat panas dan kerja fisik juga tercatat pada penelitian Perdana, Dewiyana, dan Andriani [30] terhadap pekerja bongkar muat tandan buah segar, dengan rata-rata %CVL 61,95% yang masuk kategori "kerja dalam waktu singkat". Indikator yang dipakai memang berbeda-beda di tiap penelitian ini, tapi semuanya menunjukkan arah yang sama: tekanan panas dan beban kardiovaskular tinggi jadi masalah yang cukup umum ditemukan pada pekerjaan bersuhu tinggi dan bermuatan fisik berat, tidak cuma di PMKS PT ABC.

b. Pembahasan Data Cardiovascular Load (%CVL)

Tekanan panas tinggi di stasiun Boiler, Pressan, Klarifikasi, dan Sterilizier tidak hanya membebani sistem termoregulasi, tetapi juga jantung pekerja, karena tubuh memompa lebih banyak darah ke kulit untuk membuang panas sambil tetap memenuhi kebutuhan otot yang bekerja. Beban tambahan ini tercermin pada peningkatan denyut nadi kerja, yang diukur melalui Cardiovascular Load (%CVL) mengikuti rumus pada bagian Metode. Nilai %CVL dengan demikian menjadi kelanjutan dari temuan HSI, menggambarkan sejauh mana tekanan panas di stasiun-stasiun tersebut turut membebani kerja jantung. Rekapitulasi %CVL untuk 30 pekerja pada 11 stasiun disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Rekapitulasi %CVL

Gambar 15. menunjukkan %CVL ini mengikuti sebaran suhu di lantai produksi. Nilai di atas 80% (kategori merah) terkumpul pada pekerja di stasiun-stasiun dengan paparan panas tinggi dari proses produksinya sendiri: Sterilizier (Hilfan, Ilham, Rizal), tempat uap panas dipakai untuk merebus tandan buah; Pressan (Herik, Hawin), tempat minyak diperas dalam kondisi panas; Boiler (Dwi, Zulfadli, Candra, Syahril), sumber panas utama pabrik; dan Klarifikasi (Deni, Suriadi), tempat pemisahan minyak berlangsung pada suhu tinggi. Pekerja di stasiun yang jarang bersinggungan dengan sumber panas, seperti Kernel, Engine Room, dan Laboratorium/WTP,

sebagian besar berada di bawah 60%. Hal ini sesuai dengan temuan Kato dkk. (2025) yang menjelaskan denyut nadi kerja naik sekitar 13,6 bpm setiap kenaikan suhu 10°C di dalam pakaian kerja, sehingga beban kardiovaskular bisa naik karena suhu tanpa tambahan aktivitas otot.

Pembahasan Uji Regresi Linier Berganda

Pengaruh kondisi termal lingkungan terhadap respons fisiologis pekerja dianalisis menggunakan regresi linier, dengan suhu lingkungan atau Heat Stress Index sebagai variabel independen, sedangkan denyut nadi kerja dan persentase cardiovascular load sebagai variabel dependen. Pengaruh dinyatakan signifikan apabila nilai $p < 0,05$, Tabel 6.

1. Uji Normalitas

Normality Test (Shapiro-Wilk)	
Statistic	p
0.963	.371

Gambar 16. Uji Normalitas

Gambar 16 menunjukkan, bahwa $p > 0,05$, residual berdistribusi normal, sehingga normalitas regresi terpenuhi.

2. Uji Autokorelasi

Durbin-Watson Test for Autocorrelation		
Autocorrelation	DW Statistic	p
0.141	1.66	.288

Gambar 17. Uji Autokorelation

Gambar 17 menunjukkan bahwa nilai Durbin-Watson mendekati 2 dan $p > 0,05$, sehingga tidak terdapat autokorelasi residual. Dengan demikian, asumsi independensi residual terpenuhi.

3. Uji Regresi Linier Sederhana

Model Coefficients - Denyut_Nadi

Predictor	Estimate	SE	95% Confidence Interval		t	p	Stand. Estimate	95% Confidence Interval	
			Lower	Upper				Lower	Upper
Intercept	73.40	25.017	22.160	124.65	2.93	.007			
Suhu_benar	2.18	0.783	0.571	3.78	2.78	.010	0.465	0.122	0.808

Gambar 18. Pengaruh Suhu Terhadap Denyut Nadi

Gambar 18 menunjukkan bahwa $p = 0,010 < 0,05$, maka suhu memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap denyut nadi pekerja. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C diperkirakan meningkatkan denyut nadi sebesar 2,18 denyut/menit. Penelitian Nurhartonosuro et al. [23] juga menjelaskan bahwa paparan panas di tempat kerja dapat meningkatkan denyut jantung sebagai bagian dari respons fisiologis tubuh terhadap tekanan panas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah didapat dari pengolahan data ditarik kesimpulan bahwa tingkat *heat stress index* (HSI) pekerja paling tinggi terdapat di stasiun boiler dengan nilai 143%. Kategori tindakan “diperlukan perbaikan” ditemukan pada 11 pekerja yang menyebar pada setiap stasiun kerja. Adanya pengaruh positif suhu terhadap denyut nadi pekerja sebesar 0,010. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C diperkirakan meningkatkan denyut nadi sebesar 2,18 denyut/menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Kurniati, "The Influence of Socio-Economic Factors on the Efficiency of Smallholder Palm Oil Production Inputs," vol. 19, no. 1, 2026, doi: 10.31289/agrica.v19i1.17322.
- [2] S. Purba, N. M. Ginting, I. Budiman, A. R. Lubis, and S. Gea, "Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Di Pt. Pratama Karya Niaga Jaya Menjadi Pupuk Organik," *SELAPARANG J. Pengabd. Masy. Berkemajuan*, vol. 7, no. 2, p. 1247, 2023, doi: 10.31764/jpmb.v7i2.15191.
- [3] A. Z. Vagas, I. Ruwana, and H. G. W, "Usulan Penerapan (K3) Pada Stasiun Boiler Untuk Mengurangi Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode Job Safety Analysis (JSA)," *J. Valtech (Jurnal Mhs. Tek. Ind.,* vol. 6, no. 2, pp. 153–156, 2023, doi: <https://doi.org/10.36040/valtech.v6i2.7269>.
- [4] M. N. A. Mukhtar, M. A. Yafi, H. Abdurrasyid, and A. F. Ramadhan, "Analisis ergonomi lingkungan kerja fisik pada karyawan bagian laboratorium produksi," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 7, no. 4, pp. 2236–2243, 2024, doi: <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i4.35197>.
- [5] M. Munir, M. I. Mas, and S. Asy, "Redesign Workstation Based on Anthropometry to Reduce Packing Delay and Improve Production Performance," *J. Tek. Ind.,* vol. 12, no. 2, pp. 238–250, 2026, doi: <https://doi.org/10.24014/jti.v12i2.39737>.
- [6] D. Zulhanda, M. Lestari, D. Andarini, Y. Windusari, and P. Fujianti, "Gejala Heat Strain pada Pekerja Pembuat Tahu di Kawasan Kamboja Kota Palembang," vol. 20, no. 2, pp. 120–127, 2021, doi: <https://doi.org/10.14710/jkli.20.2.120-127>.
- [7] M. . A. Bora, Herman, A. Hanafie, M. Andriani, and Z. H. Zen, *Desain Produk Ergonomi*, 1st ed. Padang: Get Press Indonesia, 2024. [Online]. Available: <https://getpress.co.id/product/desain-produk-ergonomi-meningkatkan-kenyamanan-dan-produktivitas-pengguna>
- [8] M. Andriani, A. Widyanti, Yassierli, R. Pramanda, and Suheri, "An Anthropometric Study of Head for Designing Ergonomic Helmet for Acehnese Adults An Anthropometric Study of Head for Designing Ergonomic Helmet for Acehnese Adults," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2020.
- [9] P. E. D. K. Wati and H. Murnawan, "Perancangan Alat Pembuat Engsel Ergonomis Guna Meningkatkan Kualitas Hasil Produksi," *J. Senopati*, vol. 5, no. 1, pp. 17–25, 2023, doi: <https://doi.org/10.31284/j.senopati.2023.v5i1.4515>.
- [10] M. S. Gusriani and Y. Nadya, "Analisis Termal Pada Ruang Sekitar Boiler PT. XYZ," *J. Ind. Samudra*, vol. 4, no. 2, pp. 86–95, 2025, doi: <https://doi.org/10.55377/jis.v6i1.11699> Analisis.
- [11] M. R. Widyaningrum, A. Febiyani, and A. Munang, "Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Dasar Negeri 2 Sokaraja Tengah," *J. SENOPATI Sustain. Ergon. Optim. Appl. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 77–84, 2023, doi: 10.31284/j.senopati.2023.v4i2.3305.
- [12] K. Gibb, S. Beckman, X. P. Vergara, A. Heinzerling, and R. Harrison, "Extreme Heat and Occupational Health Risks," *Annu. Rev. ofPublic Heal.*, vol. 45, no. 1, pp. 315–335, 2024, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-060222-034715>.
- [13] A. Auliciems and S. V Szokolay, "Thermal comfort".
- [14] K. Termal, B. Alami, L. Indriani, A. M. Sina, and I. Tropis, "Kenyamanan Termal pada Bangunan Berventilasi Alami di Iklim Tropis," no. December, 2024, doi: 10.24252/nature.v1i1i2a3.
- [15] S. Malelak *et al.*, "Evaluasi Kenyamanan Ruang Kos-Kosan Daerah Dusun 1, Desa Penfui Timur, Kabupaten Kupang," *J. Arsitektur, Bangunan, Lingkung.*, vol. 12, no. 3, pp. 229–239, 2023, doi: [dx.doi.org/10.22441/vitruvian.2023.v12i3.002](https://doi.org/10.22441/vitruvian.2023.v12i3.002).
- [16] I. K. Mardika and D. Sagala, "Kenyamanan Termal Dalam Ruang Pertemuan Umum Ditinjau Dari Aspek Sirkulasi Udara," *J. Perspekt. Arsit.*, vol. 18, no. 1, pp. 31–41, 2023, doi: 10.36873/jpa.v18i1.10811.
- [17] A. O. Nasution, D. Namira, N. Hizlin, R. Awiya, R. A. Ritonga, and T. Azura, "Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Terhadap Keseimbangan Termodinamika Dalam Proses Steam Reforming Dalam Reaksi Gas Alam," *J. Kolaboratif Sains*, vol. 8, no. 3, pp. 1549–1556, 2025, doi: 10.56338/jks.v8i3.6882.

- [18] P. W. Agustina, M. Andriani, and Dewiyana, "Penentuan Waktu Istirahat Untuk Meminimalisir Kelelahan Petani Menggunakan Metode Fisiologi," vol. 1, no. 3, 2023.
- [19] C. F. Hasibuan, S. Munte, and S. B. Lubis, "Analisis Pengukuran Beban Kerja dengan Menggunakan Cardiovascular Load (CVL) pada PT. XYZ," *J. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 65–71, 2021, doi: 10.31289/jime.v5i1.5054.
- [20] R. Ervil and A. Fadli, "Pengukuran Beban Kerja Fisik Dan Mental Menggunakan Metode Cvl (Cardiovascular Load) Dan Nasa-Tlx (National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index)," *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 22, no. 1, p. 177, 2022, doi: 10.36275/stsp.v22i1.485.
- [21] I. Mamlua'atul Mufidah and H. Basuki, "Analisis Regresi Linier Berganda Untuk Mengetahui Faktor Yang Mempengaruhi Kejadian Stunting Di Jawa Timur," *Indones. Nurs. J. Educ. Clin.*, vol. 3, no. 3, pp. 51–59, 2023.
- [22] C. Christodoulou-volos, "Misleading dynamics : The erosion of Durbin-Watson power through time aggregation," *Edelweiss Appl. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 9, pp. 226–244, 2025, doi: 10.55214/2576-8484.v9i9.9787.
- [23] I. M. Nurhartonosuro, S. B. Tamrin, D. Hazwani, and M. Suadi, "The Impact of Heat Stress on Physiological Health in Industrial Workers : A Mixed-Methods Study," *Indones. J. Occup. Saf. Heal.*, vol. 14, no. 3, pp. 335–347, 2025, doi: 10.20473/ijosh.v14i3.2025.335-347.Received.
- [24] M. Penelitian *et al.*, "CETAK Layout-Metodologi Penelitian-Penamudamedia_removed".
- [25] J. Vanos, G. Guzman-echavarria, J. W. Baldwin, K. L. Ebi, and O. Jay, "A physiological approach for assessing human survivability and liveability to heat in a changing climate," *Nat. Commun.*, vol. 14, no. 7653, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1038/s41467-023-43121-5.
- [26] V. Venugopal, T. Isaac, K. G. G. Sajeeth, K. P. K. Latha, and R. Shanmugam, "Unveiling the link between occupational heat strain and productivity loss : evidence from South Indian informal sectors," *Discov. Public Heal.*, vol. 22, no. 173, pp. 1–15, 2025, doi: 10.1186/s12982-025-00565-y.
- [27] X. Wang, Y. Wang, X. Lai, G. Wang, and C. Sang, "Investigation of heat stress and thermal response in deep hot-humid underground environments : A field and experimental study," *Build. Environ.*, vol. 270, no. December 2024, p. 112506, 2025, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.112506.
- [28] A. Rachid and A. M. Qureshi, "Sensitivity Analysis of Heat Stress Indices," *Climate*, vol. 11, no. 9, pp. 1–12, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/cli11090181>.
- [29] G. N. Ferrari *et al.*, "Analysis of the Climate Impact on Occupational Health and Safety Using Heat Stress Indexes," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 22, no. 1, pp. 1–17, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph22010130>.
- [30] D. A. Perdana, D. Dewiyana, and M. Andriani, "Analisis Risiko Kerja dengan Metode Fisiologi pada Pekerja Bongkar Muat Tandan Buah Segar Kelapa Sawit," *JISI J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 10, no. 2, p. 77, 2023, doi: 10.24853/jisi.10.2.77-86.