Analisis Termal Pada Ruang Sekitar Boiler PT. XYZ

[1] Moro Seneng Gusriani, [2] Yusri Nadya
[1,2] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Indonesia
Corresponding Author: nadyayusri@unsam.ac.id

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi termal di ruang produksi boiler PT. XYZ yang berpotensi mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan pekerja. Suhu lingkungan kerja yang tinggi dapat menyebabkan ketidaknyamanan, menurunkan produktivitas, dan berisiko pada kesehatan pekerja. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran suhu lingkungan kerja berdasarkan SNI-16-7061-2004 pada tiga titik area kerja, yaitu *mainhole boiler, conveyor belting* atas, dan *conveyor screw silo*. Data pengukuran meliputi suhu udara, suhu radiasi, kelembaban relatif, dan kecepatan udara. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai Heat Stress Index (HSI), Predicted Mean Vote (PMV), dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nilai *Heat Stress Index* (HSI) sebesar 128%, 153%, 139%, 124%, 140%, 131%, 112%, 124%, 115%. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai HSI > 100 dimana batasan waktu untuk paparan panas dapat meningkatkan suhu tubuh pada bagian dalam. Sehingga para pekerja merasa kegerahan dengan kondisi lingkungan kerja yang panas dan dapat meningkatkan stres akibat suhu yang tinggi. Adapun nilai PMV mencapai 3,2, yang menunjukkan kondisi lingkungan kerja yang sangat panas, sedangkan nilai PPD sebesar 49% menunjukkan hampir setengah dari pekerja merasa tidak puas dengan kondisi termal di area kerja. Faktor penyebab utama kondisi termal yang tidak nyaman ini adalah kurangnya sirkulasi udara, penggunaan atap seng yang menyerap panas, dan warna dinding abu-abu yang secara psikologis memberikan kesan panas. Berdasarkan temuan ini, disarankan adanya perbaikan sirkulasi udara dengan memasang ventilasi atau sistem pendingin udara, pemilihan material atap yang lebih reflektif terhadap panas, serta penerapan warna dinding yang lebih netral untuk meningkatkan kenyamanan termal. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami pengaruh lingkungan termal terhadap kenyamanan dan kesehatan pekerja, serta menjadi referensi bagi perusahaan dalam meningkatkan kondisi lingkungan kerja yang lebih ergonomis.
Keywords: *Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Termal, Heat Stress Index (HSI)*

1 Pendahuluan

Lingkungan kerja merupakan segala hal yang dapat memberikan dampak, baik positif maupun negatif, terhadap organisasi atau perusahaan, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya dalam kaitannya dengan kinerja serta kepuasan kerja karyawan. Lingkungan kerja sengaja dibentuk untuk menciptakan hubungan yang erat antara pekerja dengan tempat mereka bekerja. Suatu lingkungan kerja dapat dikatakan ideal apabila mampu mendukung pekerja dalam menjalankan tugas yang diberikan secara optimal, dengan kondisi yang sehat, aman, dan nyaman. Secara umum, lingkungan kerja dipengaruhi oleh empat faktor utama, yaitu faktor fisik, faktor kimia, faktor psikologis, dan faktor biologis. Berdasarkan berbagai pandangan yang ada, dapat disimpulkan bahwa lingkungan kerja mencakup seluruh unsur yang ada di sekitar pekerja saat melaksanakan tugasnya. Unsur-unsur tersebut secara langsung maupun tidak langsung dapat memengaruhi kinerja karyawan dalam menyelesaikan pekerjaannya [1].

Lingkungan kerja, baik dari aspek fisik maupun nonfisik, memiliki pengaruh yang besar terhadap kinerja karyawan. Suhu panas di ruang produksi, misalnya, dapat menyebabkan pekerja mudah berkeringat, merasa haus, kehilangan konsentrasi dengan cepat, serta lebih mudah lupa. Salah satu keluhan yang sering dialami akibat kondisi kerja yang panas dan bising adalah sakit kepala. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa suhu tinggi di area kerja industri XYZ mendorong pekerja untuk sering mengambil jeda demi mengurangi rasa panas yang mereka rasakan. Kebiasaan ini pada akhirnya berpotensi menghambat jalannya proses produksi dan dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan [2].

Kenyamanan termal menurut standar *ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating Air Condition Engineer)* adalah perasaan seseorang ketika merasa nyaman berada di suatu lingkungan dengan kondisi tertentu. Pengertian lain dari kenyamanan termal yaitu keseimbangan termal yang dicapai dari hasil pertukaran panas suhu tubuh dengan lingkungannya. Rasa nyaman seseorang selain dipengaruhi oleh hubungan antar individu juga karena kondisi lingkungan secara fisik seperti suhu udara, kelembaban, pencahayaaan, kecepatan angin serta kebisingan yang terjadi. Respon yang

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering. All rights reserved.

diterima tentang kenyamanan termal di lingkungannya berbeda-beda termasuk dari banyaknya aktivitas yang dikerjakan dan jenis pakaian dipakai serta faktor lainnya [3].

Standar kenyamanan termal di Indonesia tercantum dalam peraturan MENKES No.261/MENKES/SKII/1998 menyebutkan bahwa temperatur efektif untuk ruangan indoor memiliki range 18°C-26°C. Salah satu faktor yang menyebabkan ketidakpuasan terhadap kenyamanan termal adalah dingin serta panasnya suatu ruangan, sehingga jika temperatur melebihi batas hal yang dilakukan oleh manusia pada umumnya adalah menyalakan AC/kipas angin hingga membuka jendela untuk mengurangi rasa panas yang dirasakan.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dengan elemen-elemen lain dalam suatu sistem dan pekerjaan yang mengaplikasikan teori, prinsip, data dan metode untuk merancang suatu sistem yang optimal, dilihatdari sisi manusia dan kinerjanya. Ergonomi memberikan sumbangan untuk rancangan dan evaluasi tugas, pekerjaan, produk, lingkungan dan sistem kerja, agar dapat digunakan secara harmonis sesuai dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia. Salah satu dari ruang lingkup ergonomi adalah ergonomi kognitif. Hal ini berkaitan dengan proses mental manusia, termasuk di dalamnya; persepsi, ingatan, dan reaksi, sebagai akibat dari interaksi manusia terhadap pemakaian elemen sistem. Topik- topik yang relevan dalam ergonomi kognitif antara lain, beban kerja, pengambilan keputusan, performance, human-computer interaction, kehandalan manusia, dan stress kerja [4].

2.2 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal menurut definisi British Standard BS EN ISO 7730 sebagai kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap kondisi termal lingkungan. Jadi istilah kenyamanan termal menggambarkan kondisi psikologis seseorang yang biasanya digunakan untuk mengetahui apakah pekerja merasa terlalu panas atau terlalu dingin berada dalam suatu kondisi lingkungan tertentu [5].

Kenyamanan termal sangat sulit didefinisikan karena diperlukan pertimbangan berbagai faktor lingkungan dan kondisi pribadi pekerja ketika memutuskan apa yang bisa membuat pekerja merasa nyaman. Faktor-faktor inilah yang membentuk *Human Thermal Environment.* Kenyamanan tidak diukur berdasarkan suhu, melainkan berdasarkan jumlah pekerja yang mengeluhkan mengenai ketidaknyamanan termal. Indikator yang paling umum digunakan dalam melakukan uji kenyamanan termal adalah suhu udara. Meskipun merupakan indikator penting yang harus diperhitungkan, suhu bukan satu-satunya indikator. Suhu dan hubungannya terhadap lingkungan dan faktor personal juga harus dipertimbangkan. Terdapat enam faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan thermal, baik faktor lingkungan maupun faktor personal pekerja. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi secara independen maupun saling berinteraksi terhadap kenyamanan termal pekerja(3). Skala nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Kenyamanan Termal

PMV	*Thermal Sensation*	PPD (%)
+3	*Hot*	100
+2	*Warm*	75
+1	*Slightly warm*	25
0	*Neutral*	5
-1	*Slightly cool*	25
-2	*Cool*	75
-3	*Cold*	100

2.3 Pengukuran Suhu Lingkungan Kerja

Tempat kerja adalah tiap ruangan atau lapangan, tertutup, terbuka, bergerak ataupun tetap dimana tenaga kerja bekerja, atau yang sering dimasuki tenaga kerja untuk keperluan suatu usaha dimana terdapat sumber-sumber bahaya (UU 1/1970 tentang Keselamatan Kerja). Sumber bahaya yang ditemukan di tempat kerja sangat beragam, salah satunya adalah bahaya kondisi fisik berupa iklim kerja panas. Kondisi ini hampir pasti ditemui di industri di Indonesia seperti industri besi dan pengecoran logam baja, batu bata dan keramik, konstruksi, pertambangan, kaca dan gelas, tekstil, dll. Namun sangat disayangkan hingga saat ini masih belum terlihat upaya maksimal untuk mengatasi hal tersebut. Padahal Indonesia telah memperhatikan permasalahan keselamatan kerja sejak tahun 1969, yaitu awal

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

dari REPELITA pertama. Namun sampai saat ini program ini terlihat belum populer dalam komunitas bisnis, tenaga kerja maupun masyarakat secara umum [6].

2.4 Lingkungan Termal Manusia

Tujuan dari rancangan lingkungan kerja yang ergonomis adalah untuk menciptakan kondisi sekitar yang nyaman, dapat diterima dan mendukung kinerja atau kesehatan kerja. Lingkungan kerja adalah semua keadaan yang terdapat di sekitar tempat kerja seperti suhu, kelembaban udara, sirkulasi udara, pencahayaan, kebisingan, gerakan mekanis, bau-bauan, warna dan lain-lain.

2.5 Keseimbangan Panas

Suhu tubuh manusia yang dapat kita raba/rasakan tidak hanya didapat dari metabolisme, tetapi juga dipengaruhi oleh panas lingkungan. Panas lingkungan yang semakin tinggi akan menyebabkan pengaruh yang semakin besar terhadap suhu tubuh, sebaliknya jika suhu lingkungan semakin rendah maka semakin banyak panas tubuh yang hilang. Dengan kata lain, terjadi pertukaran panas antara tubuh manusia yang didapat dari metabolisme dengan tekanan panas yang dirasakan sebagai kondisi panas lingkungan. Selama pertukaran masih seimbang, tidak akan menimbulkan gangguan, baik penampilan kerja maupun kesehatan kerja. *Heat stress* dapat terjadi pada kondisi panas yang diproduksi lebih besar daripada panas yang hilang [7].
ASHRAE (1989) memberikan persamaan keseimbangan panas sebagai berikut:

Metabolic heat production = M – W ……..(1)

M = *metabolic rate*
W = *eksternal work*

Suhu permukaan tubuh saat berpakaian dan tidak berpakaian dihitung dengan :

$F_{cl} = 1+ 0{,}31clo = 1+ \frac{0{,}31\,Rcl}{0{,}155}$ ……..(2)

F_{cl} = Faktor area pakaian
clo = Insulasi pakaian
Rcl = daya tahan panas pakaian (m^2KW-1)

Menentukan jenis dan jumlah pakaian dihitung dengan :

$P_{sk,s} = \exp\left(18{,}956 - \frac{4030{,}18}{tsk+235}\right)mb$……..(3)

tsk = suhu kulit rata-rata (°C)

Menentukan pakaian standar aktivitas dihitung dengan :

$P_{sa} = \exp\left(18{,}956 - \frac{4030{,}18}{ta+235}\right)mb$……..(4)

ta = Suhu udara (°C)

Menentukan pakaian akhir dihitung dengan :

P_a = Rh x P_{sa}……..(5)

Rh = Kelembapan relatif
P_{sa} = Pakaian standar aktivitas

Koefisien perpindahan panas dihutung dengan :

$h_c = 8{,}3.v^{0{,}6}$ ……..(6)

v = Kecepatan udara

$h_e = 16{,}5 \times h_c$ ……..(7)

Suhu permukaan tubuh yang tertutupi permukaan pakaian dihitung dengan:

$Tc = \frac{\frac{1}{Rcl}tsk + f_{cl}(h_c t_a + h_r t_r)}{\frac{1}{Rcl} + f_{cl}(h_c + h_r)}$……..(8)

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

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

tsk = suhu kulit rata-rata (°C)
F_{cl} = Faktor area pakaian
h_c = Koefisien perpindahan panas
ta = Suhu udara (°C)
h_r = Koefisien perpindahan panas radiatif
t_r = Suhu radian rata-rata

Suhu operatif dihitung dengan rumus:

Operative temperatur (t_o) = $\frac{(h_r t_r + h_c t_a)}{(h_r + h_c)}$ .....(9)

Kombinasi perpindahan panas dihitung dengan rumus :

H = hc + hr

.....(10)

Perhitungan komponen persamaan keseimbangan panas dihitung dengan :

C + R = $\frac{(t_{sk} - t_0)}{\left(R_{cl} + \frac{1}{f_{cl}.h}\right)}$.....(11)

h = Kombinasi perpindahan panas
t_o = Suhu operatif

Total penguapan dari kulit dihitung dengan rumus:

Esk = $\frac{w(P_{sk,s} - P_a)}{\left(R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl}.h_e}\right)}$.....(12)

$P_{sk,s}$= 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) .....(13)
C_{res} = Tingkat kehilangan panas konvektif dari pernapasan
E_{res} = Tingkat kehilangan panas penguapan dari pernapasan

Maka, persamaan *heat balace* akan menjadi:

M – W = C + R + E_{sk} + C_{res} + E_{res} .....(14)

Kebasahan yang dibutuhkan untuk keseimbangan dihitung dengan:

W_{req} = $\frac{E_{req}}{E_{max}}$ .....(15)

E_{req} = Energi yang dikeluarkan
E_{max} = Energi maksimum
Jadi, E_{req} = W_{req} x E_{max} .....(16)
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- $\frac{w}{2}$ .....(17)

Keringat yang dibutuhkan dapat dihitung sebagai:

S_{req} = $\frac{E_{req}}{r}$ Wm .....(18)

.

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

Heat Stress Index (HSI) = $\frac{E_{req}}{E_{max}}$ x 100% .....(19)

2.6 Tingkat *Heat Stress Index* (HSI)

Dalam lingkungan panas, efek pendinginan dari penguapan keringat adalah terpenting untuk keseimbangan panas. Maka dari itu, *Belding and Hatch* mendasarkan indeksnya atas perbandingan banyaknya keringat yang diperlukan untuk mengimbangi panas dan kapasitas maksimal tubuh untuk berkeringat. Unruk menentukan indeks tersebut, diperlukan pengukuran-pengukuran suhu kering dan

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

basah, suhu *globe termometer*, kecepatan aliran udara, produksi panas akibat kegiatan dalam pekerjaan. Berikut ini adalah tabel Tafsiran dari Nilai *Heat Stress Index* (HSI).

Tabel 2. Tingkat Heat Stress Index (HSI)

Heat Stress Index (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 airdan 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.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Suhu Area Kerja

Dalam penelitian ini, pengukuran dilakukan selama 3 hari mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00 WIB. Dimana interval pengukuran berdasarkan SNI-16-7061-2004 yaitu pukul 08.00 WIB mewakili awal shift, pukul 13.00 WIB mewakili tengah shift, dan 16.00 WIB mewakili akhir shift. Titik pengukuran temperatur udara terdiri dari 3 titik area kerja berdasarkan area yang sering didatangi oleh operator. Titik area kerja tersebut terdiri dari:

1. *Mainhole boiler* (area depan)
2. *Conveyor belting* atas (pengrataan bahan bakar)
3. *Conveyor screw silo*

Berdasarkan area diatas dilakukan pengukuran terhadap titik titik tersebut. Hasil pengukuran suhu panas dapat dilihat pada Table 3.

Tabel 3. Pengukuran Suhu Area Kerja

No.	Nama Pekerja	Pengukuran Suhu (°C)
1	Hidayat	34
2	Adrian	36,5
3	Parulian	35,2
4	Ilmanan	33,4
5	Adi Sutrisno	35,3
6	Makmur	34,3
7	Marto	31,6
8	Rafindo	33,4
9	Fadli	32,1

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

3.2 Perhitungan Nilai Inklusi Pakaian (*Index Clo*)

Perhitungan ini nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai PMV. Berikut ini adalah tabel insulasi pakaian pekerja.

Tabel 4. Index Clo

Uraian Pakaian	Clo
Celana Dalam Pria	0.04
Kaos	0.08
Jaket Tebal, Berlengan Panjang	0.36
Celana Panjang	0.15
Celana Lurus Tebal	0.24
Kaos Kaki Tumit	0.04
Sepatu	0.08
Sarung Tangan	0.05
Total	1,04
Clo	0,87

Perhitungan hasil clo dapat dilihat seperti dibawah ini.

Pria = 0,727($\sum$ clo) + 0,113

= 0,727 (1,04) + 0,113

= 0,87

Berdasarkan hasil perhitungan nilai insulasi pakaian diatas maka yang dipakai untuk melakukan perhitungan PMV yaitu 0,87.

3.3 Hasil Penelitian

Diketahui :

ta = suhu udara = 34 °C

tr = suhu radian = 32,063°C

Rh = kelembaban relatif = 60 %

V = kecepatan udara = 0,12 m/s

M = *metabolic rate* = 116 w/m2

ReCl = 0,015 m^2 Kpa/w

Tsk = 37,242°C (dari buku *thermal comfort*)

W = eksternal work = 0 w/m^2

Rcl = 0,093 m2°C W/m

Є = emissitas = 0,95 (dari buku *thermal comfort*)

Ar/A_D = 0,73 (dari buku *thermal comfort*)

A_D = 1,660 m^2 (dari buku *thermal comfort*)

Resistansi baju (I_{clo}) = 0,87 Clo

Penentuan nilai PMV dapat dilakukan seperti urutan berikut.

a. *Metabolic Rate* (M) dan *External work* (W)

Metabolic heat production = M – W = 116 – 0 = 116 W/m^2

b. Nilai rasio permukaan tubuh saat berpakaian dan tidak (fcl)

$f_{cl} = 1 + 0{,}31clo = 1 + \frac{0{,}31Rcl}{0{,}155}$

$f_{cl} = 1 + \frac{0{,}31.0{,}093}{0{,}155} = 1{,}186$

Untuk t_{sk} = 37,242, maka tekanan suhu kulit adalah:

$P_{sk,s} = \exp\left(18{,}956 - \frac{4030{,}18}{tsk + 235}\right)mb$ = 63,582 mb = 6,3582 kPa

Untuk t_a = 34°C , maka tekanan suhu udara adalah

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

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

= exp (3,97391) mb

= 53,19254 mb

= 5,319254 kPa

P_a = Rh x P_{sa}

P_a = 0,6 x 4,3120 = 3,1915 kPa

Heat transfer coefficient

$h_c = 8{,}3.v^{0,6}$

$h_c = 8{,}3.(0{,}12)^{0,6}$

maka, h_c = 2,326 $Wm^{-2}K^{-1}$

h_e = 16,5 x h_c = 16,5 x 2,326 = 38,377 $Wm^{-2}kPa^{-1}$

h_r kita asumsikan 4,537

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

$$t_{cl} = \frac{\frac{1}{0{,}093} 37{,}242 + 1{,}186\ (2{,}326.34 + 4{,}537.32{,}063)}{\frac{1}{0{,}093} + 1{,}186(2{,}326 + 4{,}537)}$$

t_{cl} =7103,87

*Operative temperatur*e (t_o) = $\frac{(h_r t_r + h_c t_a)}{(h_r + h_c)}$

*Operative temperatur*e (t_o) = $\frac{(4{,}537.32{,}063)+(2{,}326.34)}{(4{,}537+2{,}326)}$

*Operative temperatur*e (t_o) = 32,74°C

Combined heat transfer coefficient:

$h = h_c + h_r$

h = 2,326 + 4,537= 6,683

Calculation of the components of the heat balance equation

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

$$C + R = \frac{(37{,}242 \quad ,465)}{\left(0{,}093 + \frac{1}{1{,}186.6{,}683}\right)}$$

C + R = 0,79 Wm^{-2}

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

$$E_{sk} = \frac{w(6{,}358 - 2{,}5872)}{\left(0{,}015 + \frac{1}{1{,}186.38{,}377}\right)}$$

E_{sk} = w x 85,65 W/m^2

Untuk w = 1, $E_{sk} = E_{max}$, maka E_{max} = 85,65 Wm^{-2}

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

$C_{res} + E_{res}$ = 0,0014 x 116 (34 – 34) + 0,0173 x 116 (5,87 – 3,1915)

$C_{res} + E_{res}$ = 5,38 Wm^{-2}

Maka, persamaan *heat balace* akan menjadi:

M – W = C + R + E_{sk} + C_{res} + E_{res}

116 – 0 = 0,79 + (w x 85,65) + 5,38

w = 1,28

w_{req} = w = 1,28

Kebasahan yang dibutuhkan untuk keseimbangan diberikan dengan:

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

$W_{req} = \frac{E_{req}}{E_{max}}$

Jadi, $E_{req} = W_{req} \times E_{max} = 1,28 \times 85,65 = 109,84\ Wm^{-2}$

Dengan menggunakan panas laten dari penguapan air ($22,5 \times 10^{-5}\ JKg^{-1}$) dan memperhatikan jumlah tetesan keringat, r (sedikit keringat menetes dan panas laten tidak hilang) ISO 7933 menggunakan:

$r = 1 - \frac{w}{2}$

$r = 1 - \frac{1,28}{2} = 0,36$

Keringat yang dibutuhkan (untuk menyediakan penguapan yang dibutuhkan) dapat dihitung sebagai:

$S_{req} = \frac{E_{req}}{r} Wm$

$S_{req} = \frac{109,84}{0,36} = Wm^{-2}$

S_{req} = 3,06 liter/jam

c. *Heat Stress Index* (HSI)

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

Heat Stress Index (HSI) = $\frac{E_{req}}{E_{max}} x100\%$

Heat Stress Index (HSI) = $\frac{109,84}{85,65} x100\%$

Heat Stress Index (HSI) = 128%

d. *Predicted Mean Vote* (PMV)

Perhitungan nilai PMV menggunakan data-data yang sebelumnya sudah diketahui yaitu
temperatur (t_a) =38,1°C,
kelembaban (RH) =60%
temperatur radiasi (t_r) =32,063°C.

PMV = $(0,303x\, e^{-0,036M} + 0,028)$ x $((M - W) - H - Ec - Cres - Eres)$

= 3,261

= 3,2

e. *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD)

PPD = $100 - 95x\, e^{(-0,03353x PMV^4 - 0,2179x PMV^2)}$

=49,175

=49%

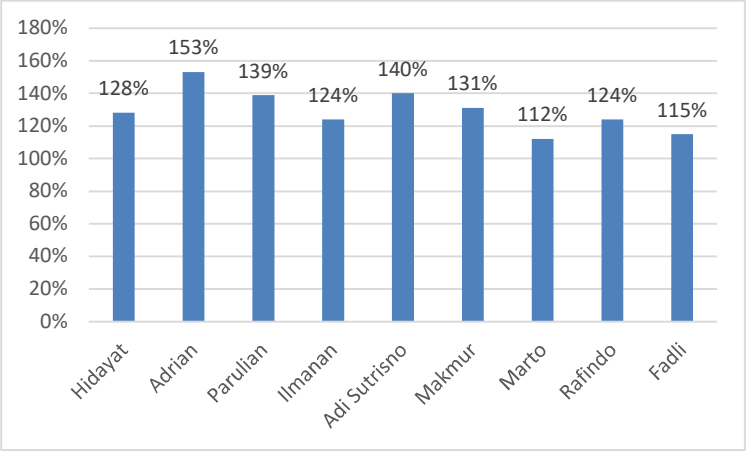
Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Heat Stress Index (HSI)

No.	Nama Pekerja	Heat Stress Index (HSI)
1	Hidayat	128%
2	Adrian	153%
3	Parulian	139%
4	Ilmanan	124%
5	Adi Sutrisno	140%
6	Makmur	131%
7	Marto	112%
8	Rafindo	124%
9	Fadli	115%

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

3.4 Pembahasan

Berdasarkan tabel tersebut didapatkan hasil pengukuran di beberapa titik area kerja diruang produksi boiler. Hasil pengukuran tersebut kemudian dihitung agar mendapat nilai yang siginifikan dari beberapa titik pengukuran tersebut. Adapun grafik yang menunjukkan tingkat *Heat Stress Index* (HSI) dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rekaitulasi *Heat Stress Index*

Gambar 1 menunjukkan nilai Heat Stress Index sebesar 128%, 153%, 139%, 124%, 140%, 131%, 112%, 124%, 115%. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai HSI > 100 dimana batasan waktu untuk paparan panas dapat meningkatkan suhu tubuh pada bagian dalam. Sehingga para pekerja merasa kegerahan dengan kondisi lingkungan kerja yang panas dan dapat meningkatkan stres akibat suhu yang tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh nilai PMV sebesar 3,261 dimana hal ini menunjukkan bahwa ruang produksi boiler termasuk dalam kategori panas yang dirasakan oleh tubuh pekerja. *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD) merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Orang diasumsikan tidak puas terhadap keadaan termal apabila indeks PMV yang dirasakannya adalah -3 (sangat dingin), -2 (dingin), +2 (panas), dan +3 (sangatpanas). Semakin besar persentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak puas.

Selain itu ruang produksi boiler tidak memiliki sirkulasi udara yang baik dalam hal ini ventilasi/bukaan tidak ada. Sehingga pertukaran udara dalam bangunan tidak lancar. Udara panas dalam bangunan terperangkap tidak bisa keluar untuk digantikan udara segar dari luar bangunan.

Faktor lain yang menyebabkan ruang produksi PT.XYZ panas karena pemakaian atap bangunan pabrik menggunakan seng. Seng merupakan material yang menyerap panas sinar matahari. Warna dinding bangunan secara psikologis juga memberikan kesan panas pada para pekerja. Apalagi warna dinding bangunan pabrik adalah abu abu. Warna abu abu memberikan kesan panas. Area gudang barak mekanik jadi memiliki temperatur paling rendah yaitu sebesar 28,7 °C. Hal ini terjadi karena lokasi gudang barang mekanik jauh dengan ruang produksi boiler dan turbin yang tergolong panas serta berada di *outdoor*. Sehingga sirkulasi udara di area ini lebih lancar dibandingkan area yang lain. Terjadi pertukaran udara panas di dalam ruangan dengan udara dingin dari luar. Selain itu, pada stasiun gudang barang jadi tidak terdapat mesin, sehingga tidak mendapatkan paparan panas dari aktivitas mesin produksi. Dari ke 3 area yang ada pada ruang produksi boiler PT.XYZ rata-rata pengukuran temperatur terbesar terjadi pada siang hari. Sedangkan nilai rata-rata pengukuran temperatur terkecil terjadi pada pagi hari.

Kesimpulan

1. Nilai *Heat Stress Index* (HSI) sebesar 128%, 153%, 139%, 124%, 140%, 131%, 112%, 124%, 115%. Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai HSI > 100 dimana batasan waktu untuk paparan panas dapat meningkatkan suhu tubuh pada bagian dalam. Sehingga para pekerja merasa kegerahan dengan kondisi lingkungan kerja yang panas dan dapat meningkatkan stres akibat suhu yang tinggi.
2. Nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) yang diperoleh sebesar 3,621 dimana hal ini menunjukkan bahwa ruang produksi boiler termasuk dalam kategori *hot* (panas) yang dirasakan oleh tubuh pekerja.

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.

Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) merupakan banyaknya orang (dalam persentase) yang tidak puas terhadap keadaan termal di lingkungan sekitar. Orang diasumsikan tidak puas terhadap keadaan termal apabila indeks PMV yang dirasakannya. Semakin besar persentase PPD, maka semakin banyak penghuni yang merasa tidak puas.

Daftar Pustaka :

[1]. Panjaitan M. Pengaruh Lingkungan Kerja Terhadap Produktivitas Kerja. 2022;3(2):1–5.
[2]. Chandra MR. Analisis Ergonomi Lingkungan Kerja Fisik Berdasarkan Temperatur , Pencahayaan Dan Tingkat Kebisingan Mesin Studi Kasus PTPN VIII Dayeuhmanggung. Pros Mhs Semin Nas Unimus [Internet].2019;2:58595.Availablefrom:https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/mahasiswa/article/viewFile/515/518
[3]. Hadi Y, Azaria T, . P, Putrianto NK, Oktiarso T, Ekawati Y, et al. Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kuliah. J METRIS. 2020;21(01):13–26.
[4]. bahan ajar. Buku Ajar Ergonomi Dan Perancangan Sistem Kerja. 2020. 1–109 p.
(5). Sumaryata MA, Afriesta CLB, Koerniawan MD. Kenyamanan Termal Pada Koridor Kampus Institut Teknologi Bandung Dengan Analisis Rayman. J Lingkung Binaan Indones. 2019;8(3):118–25.
(6). Gas T, Di LPG, Pt S. Journal of Systems Engineering and Management Pengaruh Suhu Lingkungan Terhadap Beban Kerja Fisik dan Mental Pada Pekerja Operator. 2024;03(02):103–13.
(7). Anisa Septiana Putri, Imbardi WM. Analisis Kenyamanan Termal Perancangan Ruang Kelas Berbasis Bukaan Jendela Pada Sekolah Islam Terpadu di Rupat Utara. J Arsit Arsit Melayu dan Lingkung [Internet]. 2023;10(1):1325.Availablefrom:http://journal.unilak.ac.id/index.php/arsitektur/article/view/12250%0Ahttp://journal.unilak.ac.id/index.php/arsitektur/article/download/12250/4518

Copyright © 2025 Department of Industrial Engineering
All rights reserved.