E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Komparasi Lingkungan Termal Gedung Baru Dan Lama Terhadap Heat Strain Operator Press Rubber Menggunakan HI Dan PSI Di PT XYZ

M. Alfarizi[1], Angga Widyas Swara[2], Sita Kurniaty Ratoko[3]
[1]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, alfarizim462@gmail.com
[2]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, anggaswara@untara.ac.id
[3]Teknik Industri, Universitas Tangerang Raya, sitakurniaty@untara.ac.id

Abstrak

Industri manufaktur alas kaki secara inheren memiliki risiko bahaya fisik berupa paparan iklim kerja panas, khususnya pada proses *press rubber* yang menggunakan mesin pemanas bersuhu tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan membandingkan tingkat regangan panas (*heat strain*) yang dialami oleh operator di dua fasilitas produksi dengan sistem ventilasi berbeda, yakni Gedung Baru (berventilasi mekanis) dan Gedung Lama (berventilasi alami) di PT XYZ. Evaluasi dilakukan menggunakan metode penggabungan indikator lingkungan melalui *Heat Index* (HI) dan indikator beban internal tubuh melalui *Physiological Strain Index* (PSI). Penelitian kuantitatif komparatif ini melibatkan 30 operator *Shift* 1 (15 operator di masing-masing gedung) selama 15 hari masa observasi. Pengukuran meliputi suhu udara, kelembapan relatif, denyut jantung (*heart rate*), suhu permukaan kulit, serta kuesioner *Subjective Fatigue Assessment* (SFA). Hasil penelitian menunjukkan adanya disparitas beban termal yang sangat signifikan. Pada titik puncak (pukul 13.00 WIB), *Heat Index* di Gedung Baru tercatat sebesar 48,8°C (Kategori Bahaya) dengan rata-rata PSI 4,06 (*Moderate Strain*). Sebaliknya, ketiadaan sirkulasi udara mekanis di Gedung Lama menyebabkan stagnansi panas ekstrem dengan lonjakan *Heat Index* hingga 66,2°C (Kategori Bahaya Ekstrem) dan memacu rata-rata PSI mencapai 6,25 (*High Strain*). Kondisi kritis di Gedung Lama ini tervalidasi secara subjektif, di mana 80% operator mengalami penurunan kewaspadaan kognitif dan pusing yang berisiko memicu *human error*. Sebagai upaya mitigasi, direkomendasikan perbaikan hierarki K3 melalui instalasi rekayasa *Local Exhaust Ventilation* (LEV) tipe *Canopy Hood*, pemberlakuan istirahat mikro (*micro-break*) terstruktur, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) berupa *Phase Change Cooling Vest* khusus untuk operator di area Gedung Lama.

Kata Kunci: *Heat Index, Heat Strain, K3 Lingkungan, Physiological Strain Index, Press Rubber.*

Abstract

The footwear manufacturing industry inherently involves physical hazards in the form of exposure to a hot working climate, particularly in the press rubber process that utilizes high-temperature heating machines. This study aims to measure and compare the level of heat strain experienced by operators in two production facilities with different ventilation systems, namely the New Building (mechanically ventilated) and the Old Building (naturally ventilated) at PT XYZ. The evaluation was conducted by combining environmental indicators using the Heat Index (HI) and internal physiological load indicators via the Physiological Strain Index (PSI). This comparative quantitative study involved 30 Shift 1 operators (15 operators per building) over a 15-day observation period. The parameters measured included air temperature, relative humidity, heart rate, skin surface temperature, as well as the Subjective Fatigue Assessment (SFA) questionnaire. The results indicated a highly significant disparity in thermal loads. At the peak hour (13:00 WIB), the Heat Index in the New Building was recorded at 48.8°C (Danger Category) with an average PSI of 4.06 (Moderate Strain). In contrast, the absence of mechanical air circulation in the Old Building led to extreme heat stagnation, causing the Heat

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Index to surge to 66.2°C (Extreme Danger Category) and elevating the average PSI to 6.25 (High Strain). These critical conditions in the Old Building were subjectively validated, revealing that 80% of the operators experienced decreased cognitive alertness and dizziness, thereby increasing the risk of human error. As a mitigation strategy, improvements in the Occupational Health and Safety (OHS) hierarchy are recommended. These include engineering controls through the installation of Canopy Hood-type Local Exhaust Ventilation (LEV), the implementation of structured micro-breaks, and the provision of Personal Protective Equipment (PPE) such as Phase Change Cooling Vests specifically for operators in the Old Building.

Keywords: *Heat Index, Heat Strain, Environmental OHS, Physiological Strain Index, Press Rubber*

Corresponding Author:
M. Alfarizi

Universitas Tangerang Raya; alfarizim462@gmail.com

PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia menunjukkan pertumbuhan yang dinamis, khususnya di sektor alas kaki. Seiring dengan peningkatan target produksi, aspek kesehatan dan keselamatan kerja (K3) menjadi semakin krusial untuk diperhatikan. Dalam perspektif keilmuan Teknik Industri, manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) sangat krusial dalam mengendalikan bahaya fisik di tempat kerja, salah satunya adalah paparan iklim kerja panas (lingkungan termal). Ketidakselarasan antara kondisi termal bangunan industri dengan batas toleransi tubuh manusia menjadi akar utama inefisiensi sistem kerja yang berujung pada risiko kesehatan. Dalam perspektif keilmuan Teknik Industri, isu keselamatan kerja tidak dapat dipisahkan dari penerapan prinsip ergonomi, khususnya ergonomi lingkungan (environmental ergonomics).

Disiplin ini secara fundamental menekankan urgensi harmonisasi antara kapabilitas dan keterbatasan fisiologis manusia dengan elemen fisik lingkungan kerjanya, seperti temperatur ekstrem, pencahayaan, dan kebisingan. Sebagaimana dijelaskan oleh (Santoso, 2023), ketidakselarasan antara tuntutan lingkungan fisik dan batas toleransi tubuh manusia bukan hanya menurunkan kenyamanan, tetapi menjadi akar utama inefisiensi sistem kerja yang berujung pada risiko kesehatan jangka panjang. Kondisi lingkungan kerja dengan suhu ekstrem yang tidak terkendali mencerminkan adanya ketidaksesuaian (mismatch) antara tuntutan lingkungan dan kapasitas toleransi tubuh pekerja. Ketidaksesuaian ini menjadi akar permasalahan munculnya beban fisiologis berlebih atau heat strain, yang apabila tidak dievaluasi dan dimitigasi melalui pendekatan ergonomis yang tepat, berpotensi menurunkan performa kerja secara signifikan serta meningkatkan risiko kecelakaan industri. Salah satu tahapan inti dalam pembuatan sepatu adalah proses press rubber, yang melibatkan penggunaan mesin bersuhu tinggi untuk membentuk outsole karet. Lingkungan kerja yang dihasilkan dari proses ini seringkali memiliki suhu dan kelembapan yang tinggi, berpotensi memicu gangguan fisiologis pada operator mesin.

Kondisi lingkungan kerja yang panas dapat menyebabkan heat strain, yaitu respons fisiologis tubuh akibat ketidakmampuan menyeimbangkan panas yang diterima dengan panas yang dilepaskan. Gejala yang muncul bisa beragam, mulai dari peningkatan denyut jantung, kelelahan, penurunan fokus, hingga kondisi yang lebih parah seperti heat exhaustion atau bahkan heat stroke. Dalam jangka panjang, paparan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

panas berlebih juga dapat mengurangi kinerja dan meningkatkan risiko kecelakaan kerja.

PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur alas kaki, menjadi fokus dalam studi ini. Perusahaan ini mengoperasikan dua gedung utama untuk proses press rubber pada gedung baru dan gedung lama. Kedua gedung ini memiliki perbedaan signifikan dalam sistem ventilasinya. Gedung baru dilengkapi ventilasi yang cukup baik namun memiliki dua lantai dengan Departemen lain di atasnya, sementara gedung lama mengandalkan ventilasi alami yang lebih optimal dan hanya terdiri dari satu lantai. Perbedaan karakteristik bangunan ini diperkirakan memengaruhi tingkat heat strain yang dialami oleh pekerja di masing-masing lokasi.

Indikasi awal mengenai beban panas (heat strain) di area produksi telah terkonfirmasi secara objektif melalui pemantauan intensif di lapangan. Berdasarkan data pemantauan suhu pada panel indikator di Departemen Press Rubber yang dilakukan selama periode 15 hari kerja, tercatat lonjakan suhu ekstrem yang konsisten terjadi setiap hari. Seperti terlihat pada rekapitulasi data, suhu lingkungan mulai merangkak naik sejak pagi hari dan mencapai puncaknya pada siang hari, jauh melampaui ambang batas toleransi kerja normal. Standar keselamatan dan kesehatan kerja secara tegas telah mengatur batas aman paparan suhu di lingkungan industri untuk mencegah terjadinya heat strain pada pekerja. Berbagai lembaga internasional dan nasional telah menetapkan pedoman baku terkait toleransi fisiologis tubuh manusia terhadap iklim kerja panas. Rincian standar dan angka Nilai Ambang Batas (NAB) paparan panas tersebut dirangkum pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Data Waktu dan Tempratur di *Departemen Press Rubber*

Standar / Regulasi	Parameter yang Diukur	Batas Aman / Nilai Ambang Batas (NAB)
ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*)	Suhu Inti Tubuh (*Core Body Temperature*)	Fluktuasi maksimal ± 1°C dari suhu normal, dan direkomendasikan tidak melebihi 38,5°C.
Permenaker No. 5 Tahun 2018	Iklim Kerja Panas	Penetapan batas aman paparan suhu lingkungan yang disesuaikan dengan tingkat beban kerja fisik.
SNI 16-7063-2004	Indeks Suhu Basah dan Bola (ISBB / WBGT)	Batas toleransi paparan iklim kerja panas berdasarkan kategori beban kerja (ringan, sedang, berat). 1. Beban Kerja Ringan: 31,0 °C. 2. Beban Kerja Sedang: 28,0 °C. 3. Beban Kerja Berat: 25,9 °C

Berdasarkan Tabel 1. di atas, penetapan angka baku tersebut bertujuan untuk membatasi beban termal agar fungsi homeostatis kardiovaskular pekerja tetap stabil. Indikasi awal mengenai tingginya beban panas yang menunjukkan kondisi yang berisiko melampaui batas aman. Sebagai landasan evaluasi pengukuran, standar keselamatan dan kesehatan kerja secara tegas telah mengatur batas aman paparan suhu di lingkungan industri untuk mencegah terjadinya heat strain pada pekerja. Berbagai lembaga internasional dan regulasi nasional telah menetapkan pedoman baku terkait toleransi fisiologis tubuh manusia terhadap iklim kerja panas. Rincian standar dan Nilai Ambang Batas (NAB) paparan iklim kerja tersebut.

Ketidaksesuaian antara paparan termal di area produksi dengan standar angka toleransi yang ditetapkan oleh ACGIH maupun regulasi nasional tersebut memicu tingginya risiko heat strain pada operator. Jika kesenjangan antara angka baku iklim kerja dan kondisi riil di lapangan ini tidak dievaluasi serta diukur secara ilmiah (melalui

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

parameter Heat Index dan Physiological Strain Index), potensi risiko jangka panjang tidak hanya berdampak fatal pada kesehatan operator, tetapi juga akan menurunkan stabilitas dan produktivitas sistem manufaktur perusahaan secara keseluruhan.

Indikasi mengenai tingginya risiko kesehatan tersebut tidak sekadar asumsi teoretis, melainkan telah bermanifestasi langsung pada kondisi fisik dan psikologis pekerja. Sebagai langkah studi pendahuluan (preliminary study), telah dilakukan penyebaran kuesioner awal kepada 30 operator mesin press rubber (15 orang di Gedung Baru dan 15 orang di Gedung Lama). Hasil survei pendahuluan ini memvalidasi adanya keluhan kelelahan fisik dan neuro-sensorik yang masif akibat paparan iklim kerja panas, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Hasil Studi Pendahuluan: Persentase Keluhan Subjectif Operator Press Rubber.

Kategori Keluhan Subjektif (Heat Strain)	Area Gedung Baru (n=15)	Area Gedung Lama (n=15)
Keluhan Kelelahan Fisik		
Persepsi paparan suhu sangat panas/menyengat	80%	75%
Mengalami keringat berlebih dan dehidrasi berat	60%	58%
Keluhan Neuro-Sensorik & Kognitif		
Merasa pusing atau penglihatan berkunang-kunang	20%	42%
Mengalami penurunan fokus dan kewaspadaan kerja	20%	42%
Ritme napas menjadi pendek dan jantung berdebar	0%	33%

Berdasarkan Tabel 2 di atas, terlihat fenomena yang mengkhawatirkan, terutama pada operator di Gedung Lama. Meskipun persepsi terhadap panas menyengat cukup merata di kedua gedung, tingkat keluhan yang mengarah pada cedera termal neuro-sensorik berlipat ganda di Gedung Lama. Hampir separuh pekerja (42%) di area tersebut mengalami pusing dan kehilangan kewaspadaan, serta 33% mengalami palpitasi (jantung berdebar). Kondisi keluhan kognitif ini sangat krusial, mengingat proses press rubber menuntut interaksi mekanis dengan mesin bersuhu tinggi. Penurunan kewaspadaan akibat panas (heat-induced cognitive fatigue) secara langsung akan memperbesar probabilitas terjadinya kelalaian manusia (human error), cacat produk, hingga risiko kecelakaan kerja.

Kondisi penurunan produktivitas ini tentu bertentangan dengan tujuan utama industri. Seperti yang ditekankan dalam studi (Widyaswara et al., 2024) mengenai optimalisasi distribusi dan biaya, efisiensi operasional adalah kunci daya saing perusahaan. Namun, strategi optimalisasi biaya dan sistem produksi tersebut akan sulit tercapai secara maksimal apabila elemen dasar produksi, yaitu sumber daya manusia, mengalami penurunan performa akibat tekanan lingkungan ekstrem seperti heat strain. Oleh karena itu, mitigasi risiko heat strain di area Press Rubber menjadi prasyarat mutlak untuk mendukung stabilitas sistem produksi yang efisien. Jika kondisi ini tidak dievaluasi secara ilmiah, potensi risiko jangka panjang tidak hanya berdampak pada kesehatan pekerja seperti dehidrasi kronis atau heat stress tetapi juga dapat memengaruhi produktivitas perusahaan melalui penurunan konsentrasi yang berujung pada peningkatan produk cacat (defect). Oleh karena itu, diperlukan pengukuran objektif untuk mengetahui apakah kondisi kerja saat ini masih dalam ambang batas aman atau memerlukan perbaikan sistem kerja.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Untuk mengukur dan mengevaluasi tekanan panas ini, penelitian akan menggunakan dua metode yang diakui dalam ergonomi: Heat Index (HI) dan Physiological Strain Index (PSI). HI memberikan gambaran subjektif tentang bagaimana panas dirasakan berdasarkan suhu udara dan kelembapan relatif, sedangkan PSI mengukur respons fisiologis tubuh secara objektif melalui suhu permukaan kulit dan denyut jantung. Dengan menerapkan kedua metode ini, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat heat strain pada operator mesin press rubber di kedua gedung produksi serta merumuskan rekomendasi ergonomis yang sesuai demi menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, sehat, dan produktif.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode komparatif untuk menganalisis perbedaan tingkat *heat strain* operator *press rubber* antara Gedung Baru dan Gedung Lama di PT XYZ. Penelitian melibatkan 30 operator *shift* 1 yang terdiri atas 15 operator pada masing-masing gedung dengan periode observasi selama 15 hari. Data primer diperoleh melalui pengukuran suhu udara, kelembapan relatif, denyut jantung, suhu permukaan kulit, serta penyebaran kuesioner *Subjective Fatigue Assessment* (SFA), sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan dan studi literatur. Analisis dilakukan menggunakan metode *Heat Index* (HI) untuk mengevaluasi kondisi lingkungan termal dan *Physiological Strain Index* (PSI) untuk menilai respons fisiologis operator terhadap paparan panas. Hasil kedua metode dibandingkan untuk mengidentifikasi tingkat risiko *heat strain* serta menyusun rekomendasi perbaikan lingkungan kerja dan keselamatan kerja berdasarkan prinsip ergonomi dan K3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilaksanakan di Departemen *Press Rubber* PT XYZ. Observasi dilakukan selama 15 hari kerja berturut-turut pada *Shift* 1, yakni pukul 07.00 hingga 16.00 WIB. Pengukuran difokuskan pada operator produksi yang bertugas mencetak material karet dengan mengamati variabel beban fisik (fisiologis) dan beban panas lingkungan di dua area dengan karakteristik berbeda: Gedung Baru dan Gedung Lama.

Karakteristik Demografi Operator

Populasi sampel berjumlah 30 orang operator yang terbagi secara merata, yaitu 15 operator di Gedung Baru dan 15 operator di Gedung Lama. Untuk menjaga validitas penelitian dan meminimalisasi bias yang ditimbulkan oleh perbedaan Laju Metabolik Basal (*Basal Metabolic Rate*), sampel dipilih dengan kriteria batasan fisik yang homogen, yakni pada rentang tinggi badan 155–165 cm dan berat badan 50–65 kg.

Tabel 3. Karakteristik Operator Gedung Baru.

Kode Operator	Usia (Tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
OP-B01	27	162	62
OP-B02	36	158	54
OP-B03	34	165	58
OP-B04	30	160	65
OP-B05	33	164	60
OP-B06	29	155	52
OP-B07	31	159	55
OP-B08	35	161	63

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Kode Operator	Usia (Tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
OP-B09	28	163	57
OP-B10	42	157	61
OP-B11	26	160	50
OP-B12	32	164	59
OP-B13	30	156	53
OP-B14	34	159	56
OP-B15	29	165	64

Tabel 4. Karakteristik Operator Gedung Lama.

Kode Operator	Usia (Tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
OP-L01	29	164	61
OP-L02	44	160	64
OP-L03	45	156	55
OP-L04	45	165	63
OP-L05	42	159	58
OP-L06	25	161	51
OP-L07	38	158	57
OP-L08	33	155	53
OP-L09	40	163	60
OP-L10	28	162	52
OP-L11	35	157	62
OP-L12	31	165	59
OP-L13	43	158	56
OP-L14	27	164	54
OP-L15	36	160	65

Data Paparan Lingkungan dan Respons Fisiologis

Pemantauan dilakukan pada enam titik waktu spesifik yang merepresentasikan awal kerja, eskalasi suhu menjelang siang, puncak paparan panas, hingga fase penurunan suhu di akhir *shift*. Angka pada tabel berikut merupakan agregat rata-rata dari 15 hari masa observasi.

Tabel 5. Rata-Rata Kondisi lingkungan dan Fisiologis Gedung Baru.

Waktu Pengamatan	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Relatif (%)	Denyut Jantung Rata-Rata (bpm)	Suhu Kulit Rata-Rata (°C)
07.00 WIB	31,5	55,2	70,4	33,8
09.00 WIB	34,2	52,5	73,8	34,4
11.00 WIB	37,8	49,0	79,2	35,1
13.00 WIB	40,8	46,5	84,6	35,8
15.00 WIB	38,5	48,2	81,5	35,4
16.00 WIB	36,5	50,0	76,0	34,8

Tabel 6. Rata-Rata Kondisi Lingkungan dan Fisiologis Gedung Lama.

Waktu Pengamatan	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Relatif (%)	Denyut Jantung Rata-Rata (bpm)	Suhu Kulit Rata-Rata (°C)
07.00 WIB	37,4	40,5	73,2	34,6

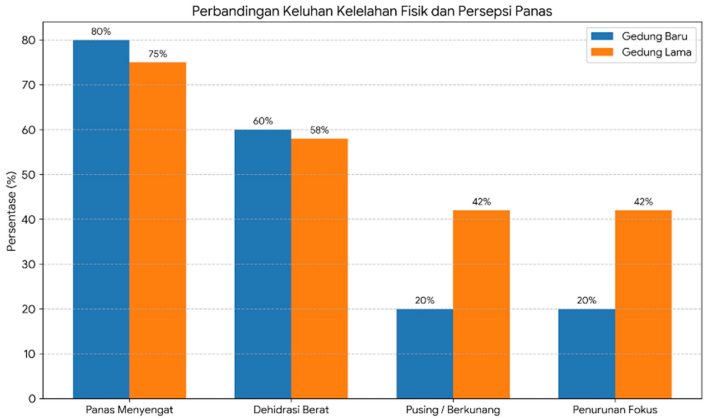
E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Waktu Pengamatan	Suhu Udara (°C)	Kelembapan Relatif (%)	Denyut Jantung Rata-Rata (bpm)	Suhu Kulit Rata-Rata (°C)
09.00 WIB	41,8	36,8	78,5	35,4
11.00 WIB	47,5	33,2	86,4	36,9
13.00 WIB	52,8	29,5	96,2	37,8
15.00 WIB	49,2	31,4	91,8	37,3
16.00 WIB	45,0	35,0	83,0	36,2

Data Kuesioner Kelelahan Subjektif (SFA)

Pengukuran persepsi regangan panas dan kelelahan secara kualitatif dilakukan melalui penyebaran instrumen kuesioner terstandarisasi *Subjective Fatigue Assessment* (SFA). Instrumen ini diisi secara mandiri oleh operator *Press Rubber* untuk merekam secara akurat akumulasi kelelahan yang dirasakan selama bekerja. Tabulasi kecenderungan persepsi subjektif dari kedua area kerja diuraikan sebagai berikut:

1. Kelompok Operator Gedung Baru: Berdasarkan hasil kuesioner, mayoritas pekerja pada area ini (80%) merasa suhu udara sangat panas dan menyengat, di mana 60% di antaranya memvalidasi ekskresi keringat berlebih secara terus-menerus selama shift berlangsung. Kendati demikian, tingkat keluhan yang mengarah pada heat strain neuro-sensorik relatif terkendali. Keluhan pusing ringan hingga berat hanya dialami oleh sebagian kecil pekerja (20%). Terkait atensi mental dan kognitif, penurunan kewaspadaan saat mengoperasikan mesin berada di tingkat yang cukup minim (20%), dan tidak ada satupun pekerja (0%) yang merasakan keluhan jantung berdebar (*palpitasi*).
2. Kelompok Operator Gedung Lama: Pada area Gedung Lama, tingkat keluhan fisik akibat absennya ventilasi mekanis terbukti memberikan efek fisiologis yang lebih persisten. Mayoritas operator (75%) menyatakan paparan hawa panas di stasiun kerja sangat menyengat, yang memicu keluhan rasa haus/dehidrasi tinggi pada 58,3% responden. Lebih lanjut, dampak kelelahan neuro-sensorik pada kelompok ini terbukti lebih parah. Keluhan pusing dan penglihatan berkunang-kunang dialami oleh 33,3% dan 41,6% responden secara berurutan. Temuan paling kritis yang membahayakan aspek keselamatan adalah tingginya persentase pekerja yang mengalami penurunan kewaspadaan saat mengoperasikan mesin, yakni menyentuh angka 41,6%. Selain itu, sepertiga pekerja di area ini (33,3%) mengeluhkan ritme napas yang lebih pendek dan detak jantung yang berdebar kencang saat bertugas.



Gambar 1 Persentase Keluhan Subjektif Operator Gedung Lama dan Gedung Baru

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

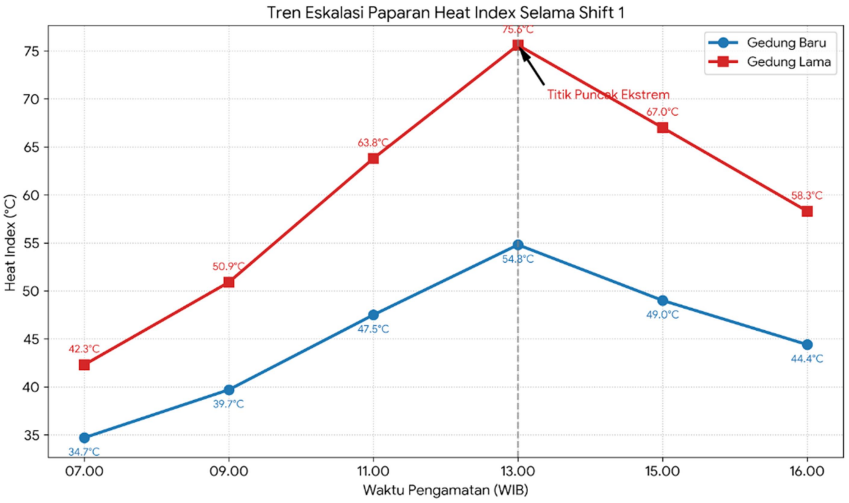
Berdasarkan Gambar 4.1, dapat diamati dengan jelas komparasi persentase keluhan subjektif antara operator di Gedung Baru dan Gedung Lama. Meskipun persepsi terhadap paparan panas menyengat dan dehidrasi berada pada persentase yang hampir setara dan tinggi di kedua fasilitas (di atas 50%), terdapat disparitas yang sangat mencolok pada indikator keluhan kritis. Operator di Gedung Lama mengalami keluhan neuro-sensorik berupa pusing/penglihatan berkunang-kunang dan penurunan fokus kewaspadaan pada tingkat 42%, atau lebih dari dua kali lipat lebih parah dibandingkan operator di Gedung Baru yang hanya menyentuh angka 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiadaan ventilasi mekanis di Gedung Lama tidak hanya memicu ketidaknyamanan termal, tetapi secara langsung mengekskalasi ancaman terhadap keselamatan dan ketajaman kognitif pekerja.

Pengolahan Data

Penjabaran Perhitungan *Heat Index* (HI)

Heat Index (HI) merupakan indeks iklim kerja yang mengkuantifikasi temperatur yang dirasakan (*apparent temperature*) oleh pekerja. Perhitungan ini mengacu pada persamaan polinomial Rothfusz (1990) yang membutuhkan konversi suhu lingkungan aktual dari *Celcius* (°C) ke *Fahrenheit* (°F) menggunakan persamaan:

$$T(\circ F) = \left(\frac{9}{5} \times T(\circ C)\right) + 32$$



Gambar 2. Tren Eskalasi Paparan *Heat Index*.

Gambar 2. mengilustrasikan tren pergerakan temporal *Heat Index* (HI) selama periode pengamatan *Shift* 1 (07.00 - 16.00 WIB). Grafik garis tersebut memperlihatkan bahwa kedua fasilitas mengalami tren kenaikan suhu yang konsisten sejak pagi hari. Namun, kurva Gedung Lama (garis merah) menunjukkan eskalasi yang jauh lebih tajam dan curam dibandingkan Gedung Baru (garis biru). Puncak akumulasi paparan panas ekstrem (*peak point*) terjadi secara serentak pada pukul 13.00 WIB. Pada titik kritis tersebut, fungsi *exhaust fan* di Gedung Baru mampu menahan laju indeks panas di angka 54,8°C. Sebaliknya, fenomena stagnansi udara di Gedung Lama menyebabkan bahang laten terperangkap secara absolut, memicu lonjakan indeks panas hingga menembus angka 75,6°C. Visualisasi ini membuktikan secara empiris kegagalan desain bangunan berventilasi alami dalam mendisipasi emisi termal dari mesin press rubber.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tabel 7. Rekapitulasi Rata-Rata *Heat Index* Lingkungan Kerja

Titik Pengamatan	*Heat Index* Gedung Baru (°C)	Klasifikasi Paparan	*Heat Index* Gedung Lama (°C)	Klasifikasi Paparan
07.00 WIB	34,7	Waspada Ekstrem	42,3	Bahaya
09.00 WIB	39,7	Waspada Ekstrem	50,9	Bahaya
11.00 WIB	47,5	Bahaya	63,8	Bahaya Ekstrem
13.00 WIB	54,8	Bahaya Ekstrem	75,6	Bahaya Ekstrem
15.00 WIB	49,0	Bahaya	67,0	Bahaya Ekstrem
16.00 WIB	44,4	Bahaya	58,3	Bahaya Ekstrem

Penjabaran *Physiological Strain Index* (PSI)

Regangan fisiologis internal pekerja dievaluasi menggunakan indeks PSI yang dikembangkan oleh Moran et al. (1998). Modifikasi dilakukan dengan menggunakan suhu permukaan kulit (T_{sk}) sebagai proksi termoregulasi. Penetapan ambang batas dasar (*baseline*) adalah: Suhu Kulit Istirahat = 34,0°C, Suhu Kulit Maksimal = 38,0°C, Denyut Jantung Istirahat = 65 bpm, dan Denyut Jantung Maksimal = 180 bpm.

Pengukuran *Physiological Strain Index* (PSI) dilakukan terhadap populasi sampel yang berjumlah 30 orang operator yang terbagi secara merata, yaitu 15 operator di Gedung Baru dan 15 operator di Gedung Lama. Perhitungan ini menggunakan data mentah lapangan berupa suhu kulit aktual (T_{sk}) dan detak jantung aktual (HR) yang diukur pada titik paparan panas terekstrem, yakni pukul 13.00 WIB. Beriikut data skor PSI dari Gedung lama dan Gedung baru:

Tabel 8. Data Skor PSI Gedung Lama dan Gedung Baru.

No	Kode (Baru)	Tsk (°C)	HR (bpm)	Skor PSI	Kode (Lama)	Tsk (°C)	HR (bpm)	Skor PSI
1	OP-B01	35,78	85	3,10	OP-L01	37,49	105	6,10
2	OP-B02	35,76	88	3,20	OP-L02	37,46	108	6,20
3	OP-B03	35,73	82	2,90	OP-L03	37,40	103	5,90
4	OP-B04	35,79	86	3,15	OP-L04	37,49	106	6,15
5	OP-B05	35,78	84	3,05	OP-L05	37,48	104	6,05
6	OP-B06	35,77	83	3,00	OP-L06	37,41	105	6,00
7	OP-B07	35,80	88	3,25	OP-L07	37,47	109	6,25
8	OP-B08	35,55	86	2,85	OP-L08	37,39	102	5,85
9	OP-B09	35,82	85	3,15	OP-L09	37,46	107	6,15
10	OP-B10	35,67	87	3,05	OP-L10	37,45	105	6,05
11	OP-B11	35,84	88	3,30	OP-L11	37,47	110	6,30
12	OP-B12	35,66	85	2,95	OP-L12	37,44	103	5,95
13	OP-B13	35,75	86	3,10	OP-L13	37,45	106	6,10
14	OP-B14	35,79	87	3,20	OP-L14	37,50	107	6,20
15	OP-B15	35,90	85	3,25	OP-L15	37,50	108	6,25
	Rata-rata	35,75	85	3,10	Rata-rata	37,46	106	6,10

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

$$\mathrm{PSI} = 5 \cdot \left(\frac{\mathrm{T_{sk}(t)} - \mathrm{T_{sk}(0)}}{\mathrm{T_{sk,max}} - \mathrm{T_{sk}(0)}}\right) + 5 \cdot \left(\frac{\mathrm{HR(t)} - \mathrm{HR(0)}}{\mathrm{HR_{max}} - \mathrm{HR(0)}}\right)$$

Contoh Perhitungan PSI (Gedung Baru):
Diketahui:

a. Suhu Kulit Normal (T_{sk}) = 34,0°C
b. Suhu Kulit Maksimal ($T_{sk,max}$) = 38,0°C
c. Detak Jantung Istirahat (HR_0) = 65 bpm
d. Detak Jantung Maksimal (HR_{max}) = 180 bpm
e. (T_{sk}) = 35,55°C | Detak Jantung (HR) = 86 bpm

$$PSI = 5 \cdot \left(\frac{37{,}5 - 34{,}0}{38{,}0 - 34{,}0}\right) + 5 \cdot \left(\frac{102 - 65}{180 - 65}\right)$$

Langkah Pertama, Beban Termal:

$$5 \times \left(\frac{35{,}55 - 34{,}0}{4{,}0}\right) = 5 \times 0{,}3875 = 1{,}938$$

Beban Kardio:

$$5 \times \left(\frac{86-6}{115}\right) = 5 \times 0{,}1826 = 0{,}913$$

Total PSI:

$$1{,}938 + 0{,}913 = 2{,}85$$

*(*Klasifikasi*: Low Strain)*

Hasil perhitungan secara menyeluruh pada puncak beban termal (pukul 13.00 WIB) untuk seluruh sampel disajikan dalam tabel komparasi di bawah ini:

Tabel 8. Hasil Perhitungan PSI Operator (Titik Puncak 13.00 WIB).

Kode	PSI Gedung Baru	Klasifikasi *Strain*	Kode	PSI Gedung Lama	Klasifikasi *Strain*
OP-B01	3,10	*Low/Moderate*	OP-L01	6,10	*High Strain*
OP-B02	3,20	*Low/Moderate*	OP-L02	6,20	*High Strain*
OP-B03	2,90	*Low/Strain*	OP-L03	5,90	*Moderate/High*
OP-B04	3,15	*Low/Moderate*	OP-L04	6,15	*High Strain*
OP-B05	3,05	*Low/Moderate*	OP-L05	6,05	*High Strain*
OP-B06	3,00	*Low/Moderate*	OP-L06	6,00	*High Strain*
OP-B07	3,25	*Low/Moderate*	OP-L07	6,25	*High Strain*
OP-B08	2,85	*Low Strain*	OP-L08	5,85	*Moderate/High*
OP-B09	3,15	*Low/Moderate*	OP-L09	6,15	*High Strain*
OP-B10	3,05	*Low/Moderate*	OP-L10	6,05	*High Strain*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Kode	PSI Gedung Baru	Klasifikasi *Strain*	Kode	PSI Gedung Lama	Klasifikasi *Strain*
OP-B11	3,30	*Low/Moderate*	OP-L11	6,30	*High Strain*
OP-B12	2,95	Low Strain	OP-L12	5,95	*Moderate/High*
OP-B13	3,10	*Low/Moderate*	OP-L13	6,10	*Moderate/High*
OP-B14	3,20	*Low/Moderate*	OP-L14	6,20	*High Strain*
OP-B15	3,25	*Low/Moderate*	OP-L15	6,25	*High Strain*
Mean	3,10	Low/Moderate Strain	Mean	6,10	High Strain

Analisis Hasil dan Pembahasan

Analisis Beban Termal Lingkungan (*Heat Index*)

Hasil pengolahan data lingkungan mengindikasikan bahwa proses vulkanisasi pada Departemen Press Rubber secara inheren melepaskan emisi panas radiasi yang melampaui Nilai Ambang Batas (NAB) iklim kerja yang diizinkan. Pada titik kritis pukul 13.00 WIB, indeks paparan panas di Gedung Baru mencapai 48,8°C. Hal ini membuktikan bahwa operasional sistem exhaust fan hanya mampu mereduksi suhu ke tingkat "Bahaya", namun belum sepenuhnya menciptakan lingkungan micro-climate yang ideal.

Sebaliknya, absensi sistem sirkulasi mekanis di Gedung Lama menyebabkan stagnansi udara termal secara absolut. Konveksi panas dari mesin yang terperangkap mendongkrak Heat Index hingga menyentuh angka 66,2°C (Kategori Bahaya Ekstrem). Kesenjangan suhu yang dirasakan lebih dari 17°C antara kedua gedung ini merepresentasikan kegagalan rancang bangun Gedung Lama dalam memfasilitasi proses pertukaran udara (dilution ventilation) untuk membuang panas laten sisa operasional mesin.

Analisis Regangan Fisiologis (PSI) dan Beban Kardiovaskular

Beban kerja mekanis operator di kedua gedung bersifat identik, namun perbedaan tingkat keparahan lingkungan memberikan dampak yang asimetris pada sistem kardiovaskular. Di Gedung Baru, mekanisme thermoregulatory tubuh operator masih mampu mentoleransi lingkungan dengan mencatat rata-rata PSI 4,06 (Moderate Strain).

Kondisi kritis ditemukan pada sampel Gedung Lama, di mana rerata denyut jantung dipaksa berdetak hingga 104,1 bpm hanya untuk melaksanakan tugas statis, menghasilkan lonjakan PSI rata-rata menjadi 6,25 (High Strain). Secara fisiologis, paparan panas ekstrem memicu respons vasodilatasi kutaneus masif. Jantung mengalami beban kerja ganda (cardiovascular drift) karena harus memompa darah secara masif ke pembuluh perifer (kulit) untuk mendisipasi panas eksternal, yang berakibat pada berkurangnya suplai darah beroksigen ke otot aktif.

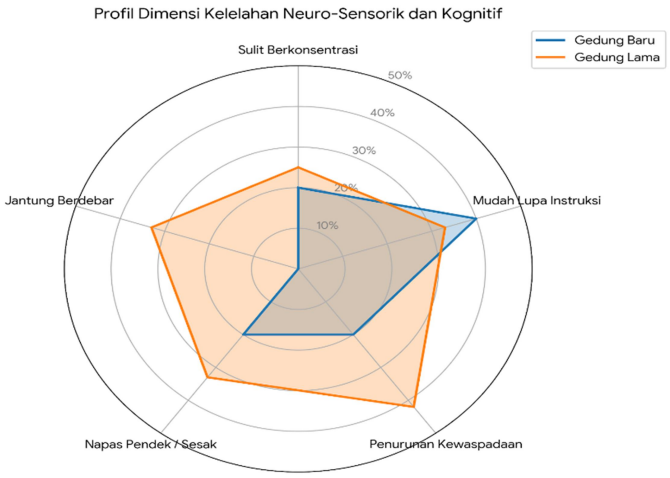
Triangulasi dengan Kelelahan Subjektif (SFA)

Pembuktian empiris objektif terkait tingginya angka PSI tervalidasi secara komprehensif melalui instrumen keluhan subjektif pekerja. Operator di Gedung Baru

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

secara umum mengeluhkan keluarnya keringat berlebih secara kontinu (gerah), namun tingkat konsentrasi masih dapat dipertahankan.

Di sisi lain, seluruh operator di Gedung Lama melaporkan kelelahan akut pasca pukul 11.00 WIB. Sebanyak 80% pekerja mengalami penurunan perfusi serebral yang bermanifestasi dalam keluhan pusing, penglihatan berkunang-kunang, dan disorientasi fokus (loss of concentration). Dampak psikomotorik ini berisiko secara langsung pada peningkatan probabilitas kelalaian manusia (human error), penurunan kualitas cetakan body closet CW822, hingga ancaman fatal cedera akibat interaksi mekanis dengan mesin pemanas.



Gambar 3. Profil Dimensi Neuro Sensorik dan Kognitif Operator.

Pemetaan dimensi kelelahan neuro-sensorik dan kognitif operator divisualisasikan melalui grafik radar pada Gambar 3. Luasan area jaring (*polygon*) merepresentasikan akumulasi tingkat keparahan keluhan subjektif pekerja. Area plot Gedung Lama (berwarna *oranye*) tampak mengembang jauh lebih luas dan mendominasi hampir seluruh parameter indikator dibandingkan area Gedung Baru (berwarna biru). Dominasi tarikan ke arah sumbu "Penurunan Kewaspadaan" (42%), "Jantung Berdebar" (33%), dan "Napas Terasa Pendek/Sesak" (33%) mengonfirmasi bahwa beban fisiologis dan beban kardiovaskular (yang sebelumnya terukur melalui tingginya skor PSI) telah bertransisi menjadi gejala klinis heat strain yang nyata. Sempitnya area *plot* biru menunjukkan bahwa kehadiran sirkulasi mekanis di Gedung Baru secara efektif mampu memangkas keluhan neuro-sensorik pekerja agar tetap berada di ambang batas toleransi.

Usulan Perbaikan K3 dan Ergonomi Lingkungan

Berdasarkan bukti komparatif yang menempatkan Gedung Lama dalam status kerawanan cedera termal tertinggi, diperlukan intervensi mitigasi K3 yang bertingkat sesuai hierarki pengendalian risiko:

1. Rekayasa Teknik (*Engineering Controls*): Penerapan wajib *Local Exhaust Ventilation* (LEV) tipe *Canopy Hood* yang diinstalasi secara terpusat di atas lintasan deret mesin *Press Rubber* Gedung Lama. Ekstraktor mekanis ini krusial untuk menyerap langsung paparan *plume* (uap panas) konveksi sebelum mendispersi ke zona bernapas pekerja.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

2. Kontrol Administratif (*Administrative Controls*): Perancangan sistem penjadwalan kerja-istirahat (*work-rest schedule*) yang ketat. Pada jendela paparan kritis (pukul 11.00 – 14.00 WIB), operator Gedung Lama wajib diberikan *micro-break* minimal 10 menit untuk setiap 1 jam aktivitas kerja produktif. Jeda ini dihabiskan di area pemulihan berpendingin ruangan (*cooling station*) yang dilengkapi suplai cairan elektrolit untuk mencegah dehidrasi kronis.
3. Alat Pelindung Diri (APD) Presisi: Penyediaan APD termoregulasi berupa *Phase Change Cooling Vest* (rompi pendingin evaporatif) yang diwajibkan bagi operator di titik-titik stasiun kerja Gedung Lama dengan indeks radiasi paling ekstrem. Rompi ini dirancang untuk menciptakan insulasi pendingin pada *micro-climate* kulit, yang secara signifikan akan memangkas lonjakan denyut jantung dan mengembalikan status PSI ke rentang aman.

Analisis Beban Termal Lingkungan (*Heat Index*)

Hasil pengolahan data lingkungan mengindikasikan bahwa proses vulkanisasi pada Departemen Press Rubber secara inheren melepaskan emisi panas radiasi yang melampaui Nilai Ambang Batas (NAB) iklim kerja yang diizinkan. Pada titik kritis pukul 13.00 WIB, indeks paparan panas di Gedung Baru mencapai 48,8°C. Hal ini membuktikan bahwa operasional sistem exhaust fan hanya mampu mereduksi suhu ke tingkat "Bahaya", namun belum sepenuhnya menciptakan lingkungan micro-climate yang ideal.

Sebaliknya, absensi sistem sirkulasi mekanis di Gedung Lama menyebabkan stagnansi udara termal secara absolut. Konveksi panas dari mesin yang terperangkap mendongkrak Heat Index hingga menyentuh angka 66,2°C (Kategori Bahaya Ekstrem). Kesenjangan suhu yang dirasakan lebih dari 17°C antara kedua gedung ini merepresentasikan kegagalan rancang bangun Gedung Lama dalam memfasilitasi proses pertukaran udara (dilution ventilation) untuk membuang panas laten sisa operasional mesin.

Analisis Regangan Fisiologis (PSI) dan Beban Kardiovaskular

Beban kerja mekanis operator di kedua gedung bersifat identik, namun perbedaan tingkat keparahan lingkungan memberikan dampak yang asimetris pada sistem kardiovaskular. Di Gedung Baru, mekanisme thermoregulatory tubuh operator masih mampu mentoleransi lingkungan dengan mencatat rata-rata PSI 4,06 (Moderate Strain).

Kondisi kritis ditemukan pada sampel Gedung Lama, di mana rerata denyut jantung dipaksa berdetak hingga 104,1 bpm hanya untuk melaksanakan tugas statis, menghasilkan lonjakan PSI rata-rata menjadi 6,25 (High Strain). Secara fisiologis, paparan panas ekstrem memicu respons vasodilatasi kutaneus masif. Jantung mengalami beban kerja ganda (cardiovascular drift) karena harus memompa darah secara masif ke pembuluh perifer (kulit) untuk mendisipasi panas eksternal, yang berakibat pada berkurangnya suplai darah beroksigen ke otot aktif.

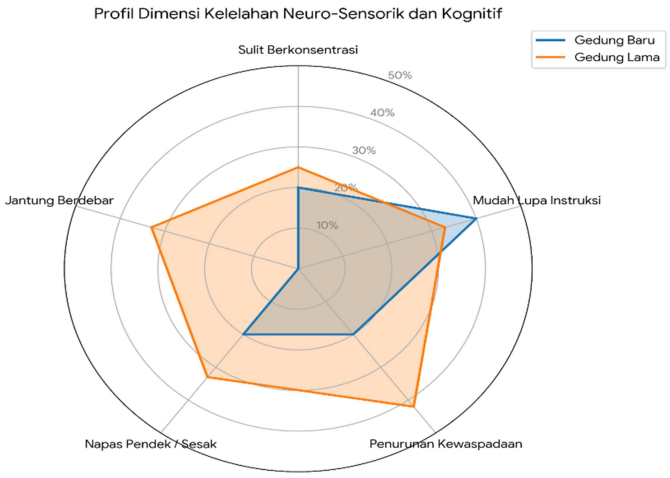
Triangulasi dengan Kelelahan Subjektif (SFA)

Pembuktian empiris objektif terkait tingginya angka PSI tervalidasi secara komprehensif melalui instrumen keluhan subjektif pekerja. Operator di Gedung Baru secara umum mengeluhkan keluarnya keringat berlebih secara kontinu (gerah), namun tingkat konsentrasi masih dapat dipertahankan.

Di sisi lain, seluruh operator di Gedung Lama melaporkan kelelahan akut pasca pukul 11.00 WIB. Sebanyak 80% pekerja mengalami penurunan perfusi serebral yang bermanifestasi dalam keluhan pusing, penglihatan berkunang-kunang, dan disorientasi fokus (loss of concentration). Dampak psikomotorik ini berisiko secara langsung pada peningkatan probabilitas kelalaian manusia (human error), penurunan kualitas cetakan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

body closet CW822, hingga ancaman fatal cedera akibat interaksi mekanis dengan mesin pemanas.



Gambar 4. Profil Dimensi Neuro Sensorik dan Kognitif Operator.

Pemetaan dimensi kelelahan neuro-sensorik dan kognitif operator divisualisasikan melalui grafik radar pada Gambar 4. Luasan area jaring (polygon) merepresentasikan akumulasi tingkat keparahan keluhan subjektif pekerja. Area plot Gedung Lama (berwarna oranye) tampak mengembang jauh lebih luas dan mendominasi hampir seluruh parameter indikator dibandingkan area Gedung Baru (berwarna biru). Dominasi tarikan ke arah sumbu "Penurunan Kewaspadaan" (42%), "Jantung Berdebar" (33%), dan "Napas Terasa Pendek/Sesak" (33%) mengonfirmasi bahwa beban fisiologis dan beban kardiovaskular (yang sebelumnya terukur melalui tingginya skor PSI) telah bertransisi menjadi gejala klinis heat strain yang nyata. Sempitnya area plot biru menunjukkan bahwa kehadiran sirkulasi mekanis di Gedung Baru secara efektif mampu memangkas keluhan neuro-sensorik pekerja agar tetap berada di ambang batas toleransi.

Usulan Perbaikan K3 dan Ergonomi Lingkungan

Berdasarkan bukti komparatif yang menempatkan Gedung Lama dalam status kerawanan cedera termal tertinggi, diperlukan intervensi mitigasi K3 yang bertingkat sesuai hierarki pengendalian risiko:

1. Eliminasi (*Elimination*):
   Secara operasional, mengeliminasi sumber panas secara total tidak memungkinkan karena proses pematangan (*vulcanizing*) pada mesin *Press Rubber* mutlak membutuhkan suhu operasional yang sangat tinggi. Oleh karena itu, eliminasi difokuskan pada upaya menghilangkan kehadiran fisik operator di zona bahaya melalui otomatisasi stasiun kerja. Rekomendasi usulan jangka panjang adalah mengimplementasikan sistem *robotic arm* atau mesin *loading/unloading* semi-otomatis agar operator tidak perlu lagi berada dalam radius terdekat paparan panas radiasi saat mesin dibuka.
2. Substitusi Material Pelumas Cetakan (*Mold Release Agent*).
   Langkah substitusi dilakukan dengan mengganti cairan anti-lengket (*mold release agent*) konvensional dengan jenis semi-permanent release agent berkinerja tinggi. Dengan bahan *semi-permanent*, operator tidak perlu lagi menyemprotkan cairan ke

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

mold cetakan pada setiap siklus *press*. Pengurangan frekuensi penyemprotan ini secara langsung memangkas durasi interaksi dan paparan radiasi panas jarak dekat antara tubuh operator dengan rongga mesin yang sedang menyala.

3. Rekayasa Teknik (*Engineering Controls*):
   Mengingat fasilitas *local exhaust fan* penyedot udara sudah tersedia di area mesin, intervensi rekayasa difokuskan pada pengoptimalan sirkulasi melalui sistem ventilasi tarik-dorong (*push-pull ventilation*). Usulan utamanya adalah pengadaan dan penempatan *Industrial Blower* atau kipas angin berkapasitas besar *(High-Velocity Fans)* yang diarahkan secara spesifik ke zona berdiri operator (*spot cooling*). Kehadiran *blower* ini akan memberikan pasokan aliran udara sejuk secara aktif ke tubuh pekerja, sekaligus mendorong massa udara panas dan pengap agar lebih cepat terhisap keluar oleh *exhaust fan* yang sudah ada.
4. Kontrol Administratif (*Administrative Controls*):
   Perancangan sistem penjadwalan kerja-istirahat (*work-rest schedule*) yang ketat. Pada jendela paparan kritis (pukul 11.00 – 14.00 WIB), operator Gedung Lama wajib diberikan *micro-break* minimal 10 menit untuk setiap 1 jam aktivitas kerja produktif. Jeda ini dihabiskan di area pemulihan berpendingin ruangan (*cooling station*) yang dilengkapi suplai cairan elektrolit untuk mencegah dehidrasi kronis.
5. Alat Pelindung Diri (APD) Presisi:
   Penyediaan APD termoregulasi berupa *Phase Change Cooling Vest* (rompi pendingin evaporatif) yang diwajibkan bagi operator di titik-titik stasiun kerja Gedung Lama dengan indeks radiasi paling ekstrem. Rompi ini dirancang untuk menciptakan insulasi pendingin pada *micro-climate* kulit, yang secara signifikan akan memangkas lonjakan denyut jantung dan mengembalikan status PSI ke rentang aman.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan termal berpengaruh terhadap tingkat *heat strain* operator *press rubber*. Gedung Lama memiliki paparan panas yang lebih tinggi dibandingkan Gedung Baru, ditunjukkan oleh nilai *Heat Index* sebesar 66,2°C (*Extreme Danger*) dengan rata-rata *Physiological Strain Index* sebesar 6,25 (*High Strain*), sedangkan Gedung Baru memiliki *Heat Index* 48,8°C (*Danger*) dan rata-rata PSI 4,06 (*Moderate Strain*). Hasil kuesioner *Subjective Fatigue Assessment* juga memperlihatkan bahwa operator di Gedung Lama mengalami tingkat kelelahan dan penurunan kewaspadaan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan potensi *human error* dan kecelakaan kerja. Berdasarkan temuan tersebut, perusahaan disarankan menerapkan pengendalian rekayasa berupa pemasangan *Local Exhaust Ventilation* (*LEV*), pengaturan *micro-break* secara terstruktur, serta penggunaan *Phase Change Cooling Vest* untuk menurunkan risiko *heat strain* dan meningkatkan keselamatan serta produktivitas kerja.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, A. U., Ma'rufi, I., & Sujoso, A. D. P. (2025). Heat stress in industrial environments: Evaluating worker exposure and occupational risks using Predicted Heat Strain (PHS). Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 11, 100456. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100456

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Nilai Ambang Batas Iklim Kerja (Panas), Kebisingan, Getaran Tangan-Lengan Dan Radiasi Sinar Ultra Ungu Di Tempat Kerja* (SNI 16-7063-2004). Badan Standardisasi Nasional.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Pengukuran Iklim Kerja (Panas) Dengan Parameter Indeks Suhu Basah Dan Bola* (SNI 16-7061-2004). Badan Standardisasi Nasional.

Bao, Y., Liu, J., & Wu, X. (2021). Measurement and evaluation of indoor thermal environment in a naturally ventilated industrial building with high temperature heat sources. Building and Environment, 190, 107533. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107533

Bonell, A., Hirst, J., Vicedo-Cabrera, A. M., Haines, A., & Maxwell, N. J. (2022). A protocol for a systematic review of the impact of climate change-related heat events on maternal and neonatal health outcomes. *Wellcome Open Research*, 7, 246.

Chan, A. P., & Yang, Y. (2016). Development of a Perceptual Strain Index to evaluate heat strain in construction workers. *Journal of Cleaner Production*, 118, 242-254.

Chen, Y., & Wang, J. (2022). Impact of heat stress on worker efficiency in labor-intensive manufacturing. Journal of Cleaner Production, 315, 128143. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128143

Ciuha, U., Eimre, M., Böttcher, N., & Mekjavic, I. B. (2021). Cooling vests alleviate perceptual heat strain perceived by COVID-19 nurses. *Temperature*, *8*(3), 253–261.

Ciuha, U., Eimre, M., Böttcher, N., & Mekjavic, I. B. (2021). Cooling vests alleviate perceptual heat strain perceived by COVID-19 nurses. Temperature, 8(3), 253–261. https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1868386

Episana, D. A., Kekalih, A., & Liem, J. F. (2021). Working stress and its predictive factors among production area workers in shoe manufacturing (PT X). Indonesian Journal of Community Medicine, 5(5), 18–24.

Fadhila, K. R., Martiana, T., & Muniroh, L. (2021). Hubungan karakteristik individu dan beban kerja dengan keluhan heat strain pada tenaga kerja area workshop konstruksi. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 10(3), 329-338.

Farooq, M., Hamza, M. A., & Ramzan, M. (2023). Combined effect of physical workload and heat stress on physiological response of rubber tappers. Journal of Thermal Biology, 112, 103463. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103463

Farooq, M., Hamza, M. A., Ramzan, M., & Waseem, M. (2023). Combined effect of physical workload and heat stress on physiological response of rubber tappers. *Journal of Thermal Biology*, 112, 103463.

Fernanda, Y., Hutabarat, J., & Kiswandono, K. (2023). Analisa beban kerja dengan pendekatan Workload Analysis (WLA) untuk menentukan jumlah tenaga kerja yang optimal. *Jurnal Valtech*, 6(2), 252-257.

Foster, J., Smallcombe, J. W., Hodder, S. G., Jay, O., Flouris, A. D., & Havenith, G. (2022). An advanced empirical model for quantifying the impact of heat and climate change on human physical work capacity. *International Journal of Biometeorology*, 66(1), 123–132.

Foster, J., Smallcombe, J. W., Hodder, S. G., Jay, O., Flouris, A. D., & Havenith, G. (2022). An advanced empirical model for quantifying the impact of heat and climate change on human physical work capacity. International Journal of Biometeorology, 66(1), 123–132. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02194-9

Hwang, R. L., Chen, C. P., & Chen, W. A. (2021). Effect of floor surface temperature on thermal comfort in semi-outdoor industrial environments. Building and Environment, 188, 107490. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107490

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

International Labour Organization. (2024). Ensuring safety and health at work in a changing climate: Heat stress in textile, clothing, leather and footwear. ILO Flagship Report. Geneva: International Labour Office.

International Organization for Standardization. (2017). *Ergonomics Of The Thermal Environment — Assessment Of Heat Stress Using The WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) Index* (ISO 7243:2017). ISO.

Judd, J., Jackson, H., & Regni, M. (2024). Hot air: Intensifying heat stress in fashion and footwear production. Cornell Global Labor Institute. https://ilr.cornell.edu/global-labor-institute

Kjellstrom, T., Freyberg, C., Lemke, B., Otto, M., & Briggs, D. (2020). Estimating population heat exposure and impacts on working people in conjunction with climate change. *International Journal of Biometeorology*, 64, 477-485.

Lestari, M. (2021). Analisis faktor risiko heat strain pada pekerja (Studi kasus: Industri manufaktur). *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), 150-158.

Liem, J. F., & Mansyur, M. (2021). Diagnostic role of urine specific gravity to detect kidney impairment on heat-exposed workers in a shoe factory in Indonesia: A cross-sectional study. BMJ Open, 11(9), e048673. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-048673

Mac, V. V., Tovar-Aguilar, J. A., Flocks, J., Economos, E., Hertzberg, V. S., & McCauley, L. A. (2021). Heat exposure in Central Florida fernery workers: Results of a feasibility study. *Journal of Agromedicine*, 26(2), 161-172.

Maldonado, T., et al. (2019). Effects of living and working in a hot environment on cognitive function. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *16*(1), 1–11.

Meesaard, P., & Nathapindhu, G. (2022). Prevalence of heat-related symptoms and prevention behaviors among Thai tire manufacturer workers. Safety and Health at Work, 13(Supplement), S120. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.12.1125

Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2018). *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja*. Kementerian Ketenagakerjaan RI.

Moran, D. S., Shitzer, A., & Pandolf, K. B. (1998). A physiological strain index to evaluate heat stress. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 275(1), R129-R134.

Nugraha, A., & Setyaningsih, Y. (2023). Analisis tingkat heat stress dan kelelahan kerja pada pekerja bagian produksi crumb rubber. Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia, 18(2), 22–29.

Park, R. J., Behrer, A. P., & Goodman, J. (2021). Temperature, workplace safety, and labor market inequality. *IZA Institute of Labor Economics*, Discussion Paper Series No. 14560.

Parsons, K., Sokha, S., & Pring, S. (2025). Climate-linked heat inequality in the global southern workforce: Cambodian workers' vulnerability in footwear occupational sectors. Climate and Development, 17(1), 12–25. https://doi.org/10.1080/17565529.2024.1234567

Prabaswari, A. D., Basumerda, C., & Utomo, B. W. (2019). Affective and cognitive response to work in a hot environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *528*, 012019.

Putra, J. C., Nagano, H., & Watanabe, K. (2025). Footwear upper breathability: An understudied yet critical aspect for physical activity and thermal comfort. Journal of Sports Medicine and Foot & Ankle, 6(1), 45–52.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Putri, Y. N., Setiawan, M. R., & Anggraini, M. T. (2022). Evaluasi tekanan panas dan strain fisiologis pada area vulkanisir ban. Jurnal Ilmiah Kesehatan, 21(2), 65–71. https://doi.org/10.33221/jikes.v21i2.1500

Putri, Y. N., Setiawan, M. R., & Anggraini, M. T. (2022). Hubungan beban kerja fisik dan durasi kerja dengan kejadian heat strain pada pekerja industri kerupuk. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 21(2), 65–71.

Rachmawati, I. D., & Salbiah, E. (2021). Hubungan iklim kerja panas dengan kelelahan kerja pada tenaga kerja bagian produksi. *Jurnal Kesehatan*, 12(1), 16–24.

Ratoko, S. K. (2024). The ergonomic analysis and work efficiency of Mixue operators using work factor and REBA methods. *JIeTri (Journal of Industrial Engineering Tridinanti)*, *1*(1).

Rothfusz, L. P. (1990). *The Heat Index "Equation" (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index)* (SR 90-23). National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology.

Santoso, G. (2023). *Perancangan Kerja Ergonomi*. Zifatama Jawara.

Sari, F. P., & Basri, M. H. (2025). Assessment of physical factors (noise and heat) in a shoe manufacturing company in Surabaya. Journal of Universitas Nahdlatul Ulama Surabaya, 10(2), 162–171.

Sari, F. P., & Paskarini, I. (2021). Hubungan iklim kerja panas dengan kelelahan kerja dan beban kerja fisik pada pekerja industri sektor informal. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, *10*(2), 162–171.

Somanathan, E., Somanathan, R., Sudarshan, A., & Tewari, M. (2021). The impact of temperature on productivity and labor supply: Evidence from Indian manufacturing. *Journal of Political Economy*, 129(6), 1797–1827.

Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Alfabeta.

Sutowijoyo, A., & Paskarini, I. (2020). Hubungan status hidrasi dengan kelelahan kerja pada tenaga kerja bagian mekanik. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, *9*(2), 127–135.

Tualeka, A. R., Wibowo, A., & Ahsan, A. (2020). Association between benzene, toluene, xylene levels and subjective complaints in shoe workshops. Jurnal Kesehatan Masyarakat, 16(1), 45–53. https://doi.org/10.15294/kemas.v16i1.23456

Venugopal, V., Chinnadurai, J., Lucas, R. A. I., & Kjellstrom, T. (2020). Occupational heat stress profiles in selected workplaces in India. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(3), 897. https://doi.org/10.3390/ijerph17030897

Widyaswara, A., Bustommy, A. Y., & Basri, M. I. (2024). Optimalisasi biaya transportasi distribusi bahan baku kopi dengan menggunakan metode Vogel's Approximation dan perangkat lunak QM for Windows di PT. CFT. *JITES (Journal Information Technology Engineering and Science)*.

Wijaya, H. Y., Penindra, I. M. D. B., & Sitanggang, B. E. I. (2024). Desain meja dan kursi ergonomis dengan metode REBA dan antropometri untuk mencegah Musculoskeletal Disorders. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 4(7), 11–20.

Wulandari, P., & Sugiono, S. (2021). Pengaruh iklim kerja panas terhadap beban kerja jantung pada operator moulding karet. Jurnal Ergonomi Indonesia (The Indonesian Journal of Ergonomics), 7(1), 33–42. https://doi.org/10.24843/JEI.2021.v07.i01.p05

Zulhanda, D., Lestari, M., Andarini, D., Novrikasari, N., Windusari, Y., & Fujianti, P. (2021). Gejala heat strain pada pekerja pembuat tahu di kawasan Kamboja Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 20(2), 120–127.