



Analisis Beban Kerja Fisiologis dan Mental Mahasiswa pada Simulasi Lingkungan Kerja di Laboratorium Ergonomi Menggunakan Pendekatan *Macroergonomics Analysis of Structure*

Aqfi Nur Firdaus¹, Nurnianingsih A. Yasin², Parlan S. Daud³, Silvana Mohamad³✉, Richard Renaldy Bukamo⁴

^(1,3)Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

⁽²⁾Program Studi Keperawatan, Fakultas Olahraga dan Kesehatan, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

⁽⁴⁾PT. Banggai Sentral Sulawesi, Sulawesi Tengah, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v8i4.50881

✉ Corresponding author:
[silvanamohamad@ung.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

*Beban Fisiologis;
Beban Mental Mahasiswa;
Keberlanjutan;
Lingkungan Kerja;
Macroergonomic Analysis of Structure*

Keywords:

*Physiological Workload;
Student Mental Workload;
Sustainability;
Work Environment;
Macroergonomic Analysis of Structure;*

Penelitian ini menganalisis beban kerja fisiologis dan mental mahasiswa dalam simulasi lingkungan kerja di Laboratorium Ergonomi dengan menggunakan pendekatan *Macroergonomics Analysis of Structure* (MAS). Simulasi menerapkan paparan kombinasi kebisingan mesin gerinda (90 dB) dan pencahayaan rendah (10 Lux) pada 21 partisipan selama 40 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lingkungan kerja simulasi secara signifikan meningkatkan beban fisiologis, terlihat dari kenaikan denyut nadi dimana 38% partisipan mengalami %CVL di atas 15% (kategori "Diperlukan Perbaikan") dan dua partisipan bahkan mencapai kategori "Berat" (>30%). Secara mental, 85,7% partisipan melaporkan beban kerja tinggi hingga sangat tinggi berdasarkan pengukuran NASA-TLX. Analisis *Macroergonomic Analysis of Structure* mengidentifikasi ketidaksesuaian antara subsistem teknologi, lingkungan fisik, dan personal sebagai akar permasalahan. Penelitian ini merekomendasikan perbaikan meliputi modifikasi lingkungan kerja, penyesuaian desain tugas, dan implementasi kebijakan K3 yang terintegrasi untuk menciptakan sistem kerja yang ergonomis, sehat, dan berkelanjutan.

Abstract

*This study analyzes the physiological and mental workload of students in a simulated work environment at the Ergonomics Laboratory using the *Macroergonomics Analysis of Structure* (MAS) approach. The simulation exposed 21 participants to a combination of grinding machine noise (90 dB) and low lighting (10 Lux) for 40 minutes. The results indicate that the simulated work environment*

significantly increased physiological workload, evidenced by an increase in pulse rate where 38% of participants exhibited a %CVL above 15% (category "Improvement Required") and two participants even reached the "Heavy" category (>30%). Mentally, 85.7% of participants reported a high to very high workload based on NASA-TLX measurements. MAS analysis identified systemic s between the technological, physical environment, and personnel subsystems as the root cause of the problem. This study recommends improvements, including environmental modifications, task design adjustments, and the implementation of integrated OSH policies to create an ergonomic, healthy, and sustainable work system.

1. PENDAHULUAN

Lingkungan kerja fisik merupakan salah satu elemen kunci dalam menciptakan sistem kerja yang ergonomis, aman, dan produktif. Faktor-faktor seperti kebisingan, pencahayaan, dan suhu memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja fisiologis dan psikologis pekerja (Sutalaksana, 2006). Studi ini dilakukan melalui simulasi lingkungan kerja di Laboratorium Ergonomi dengan melibatkan mahasiswa sebagai partisipan. Simulasi ini dirancang untuk mereplikasi kondisi kerja nyata di industri, dimana mahasiswa terpapar kebisingan mesin gerinda (± 90 dB) dengan suhu nyaman (24°C) namun pencahayaan rendah (10 Lux) selama 40 menit sambil melakukan tugas mengetik. Situasi simulasi laboratorium ini memiliki keterkaitan erat dengan aspek kesehatan, khususnya dalam mengidentifikasi dampak fisiologis dan psikologis dari faktor lingkungan kerja terhadap kondisi manusia. Kebisingan tidak hanya berpotensi menyebabkan gangguan pendengaran permanen (*Noise Induced Deafness*) tetapi juga berperan sebagai stresor yang dapat meningkatkan beban kerja mental, mengganggu konsentrasi, dan pada akhirnya menurunkan akurasi serta kecepatan kerja (Modul Ergonomi dan Perancangan Kerja Teknik Industri, 2025).

Dari perspektif kesehatan, simulasi ini mengungkap bahwa paparan kombinasi kebisingan tinggi dan pencahayaan rendah secara signifikan mempengaruhi beban kerja fisiologis yang ditunjukkan melalui peningkatan denyut nadi dan persentase cardiovascular load (%CVL). Kondisi ini berpotensi menyebabkan stres kardiovaskular jangka panjang jika terpapar secara terus-menerus di lingkungan kerja sebenarnya. Aspek beban kerja mental merupakan komponen kritis yang tidak dapat diabaikan. Menurut Hart dan Staveland (1988), beban kerja mental merupakan hasil interaksi antara tuntutan tugas, sumber daya yang dimiliki individu, serta karakteristik lingkungan kerja. Pengukuran yang komprehensif terhadap beban kerja mental, seperti menggunakan NASA-Task Load Index (TLX), dapat mengungkap dampak tidak langsung dari faktor lingkungan terhadap kondisi kognitif pekerja, yang seringkali tidak terlihat dari pengukuran fisiologis saja (Gawron, 2019). Paparan terhadap kebisingan, misalnya, tidak hanya mempengaruhi pendengaran tetapi juga secara signifikan meningkatkan tuntutan mental dan tingkat frustrasi karena pekerja harus mengalokasikan lebih banyak sumber daya kognitif untuk mempertahankan fokus (Nugroho dan Sari, 2023).

Pendekatan mikroergonomi saja seringkali tidak cukup untuk menciptakan perbaikan yang berkelanjutan. Pendekatan makroergonomi menawarkan perspektif yang lebih holistik dengan menganalisis interaksi antara subsistem within an organization (Hendrick & Kleiner, 2001). Salah satu model dalam pendekatan makroergonomi adalah Macroergonomics Analysis of Structure (MAS), yang menganalisis keselarasan antara subsistem teknologi, personal, dan lingkungan eksternal. Penelitian terbaru oleh Febriansyah dan Dewi (2024) yang menerapkan kerangka MAS dalam menganalisis beban kerja di industri jasa, menunjukkan bahwa ketidakcocokan pada subsistem teknologi dan lingkungan eksternal merupakan akar penyebab utama beban kerja berlebih dan penurunan kinerja, bukan hanya dari faktor individu.

Oleh karena itu, pendekatan yang mengintegrasikan pengukuran fisiologis, kinerja, dan persepsi subjektif terhadap beban kerja mental dalam satu kerangka makroergonomi diperlukan untuk memberikan diagnosis permasalahan yang lebih akurat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) Mengukur pengaruh paparan kebisingan, suhu dan pencahayaan terhadap beban kerja fisiologis yang diindikasikan oleh denyut nadi, (2) Mengukur pengaruh paparan kebisingan, suhu dan pencahayaan terhadap produktivitas yang diindikasikan oleh jumlah kesalahan mengetik, (3) Mengukur pengaruh paparan kebisingan, suhu dan pencahayaan terhadap beban kerja mental yang diindikasikan oleh skor NASA-TLX, dan (4) Menganalisis hasil tersebut menggunakan kerangka Makroergonomi Analysis of Structure (MAS) untuk memberikan rekomendasi perbaikan pada level sistem.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen langsung (true experiment) dengan desain one-group post-test only. Sebanyak 21 mahasiswa Teknik Industri terlibat sebagai partisipan dalam simulasi praktikum ergonomi. Penelitian ini dirancang untuk menganalisis dampak simultan faktor lingkungan kerja terhadap beban fisiologis, produktivitas, dan beban kerja mental, serta menganalisisnya secara holistik melalui pendekatan makroergonomi.

2.1. Partisipan

Partisipan berjumlah 21 orang, terdiri dari laki-laki dan perempuan, berusia antara 20-22 tahun. Sebelum eksperimen, semua partisipan dalam kondisi sehat dan menyetujui prosedur praktikum.

2.2. Variabel dan Alat Ukur

| | |
|------------------|---|
| Variabel Bebas | : Tingkat kebisingan (90 dB), Tingkat Pencahayaan (10 Lux), Suhu (24 Derajat) |
| Variabel Terikat | : Beban Kerja Fisiologis: Diukur berdasarkan selisih Denyut Nadi Kerja (DNK) dan Denyut Nadi Istirahat (DNI), serta perhitungan %CVL (Cardiovascular Load). DNK dan DNI diukur dengan metode 10 denyut menggunakan stopwatch. |
| Produktivitas | : Diukur berdasarkan jumlah kesalahan pengetikan (typos) dalam satu paragraf standar selama 10 menit. |
| Variabel Kontrol | : Suhu ruangan (24°C), pencahayaan (10 Lux), kebisingan (90 dB) dan durasi paparan (40 menit). |
| Alat Ukur | : Sound Level Meter (untuk kebisingan), Termometer (untuk suhu), Lux Meter (untuk pencahayaan), dan Stopwatch. |

Kondisi lingkungan kerja pada proses praktikum dapat dilihat pada tabel 1.

| Pengukuran | Hasil Ukur |
|-------------|------------|
| Suhu | 24° |
| Kebisingan | 90 dB |
| Pencahayaan | 10 Lux |

Data denyut nadi dan produktivitas dianalisis secara statistik deskriptif dan inferensial. Perhitungan %CVL dilakukan dengan rumus:

$$\%CVL = (DNK - DNI) / (\text{Denyut Nadi Maksimum} - DNI) \times 100\%$$

Kategori beban kerja mengacu pada Modul Ergonomi dan Perancangan Kerja Teknik Industri (2025). Untuk menganalisis pengaruh faktor lingkungan terhadap jumlah kesalahan, digunakan Uji ANOVA Dua Arah (*Two-Way ANOVA*).

Metode NASA-TLX (*Task Load Index*) yang dikembangkan oleh Hart & Staveland (1988) digunakan untuk mengukur beban kerja mental secara subjektif. Kuesioner ini terdiri dari enam sub-skala:

1. *Mental Demand*: Seberapa besar tuntutan mental dan konsentrasi?
2. *Physical Demand*: Seberapa besar tuntutan fisik?
3. *Temporal Demand*: Seberapa besar tekanan waktu?
4. *Performance*: Seberapa sukses mencapai tujuan tugas?
5. *Effort*: Seberapa besar usaha yang Anda keluarkan untuk mencapai tingkat kinerja tersebut?
6. *Frustration*: Seberapa besar perasaan tidak berdaya, frustrasi, dan stres yang Anda alami?

Partisipan memberikan penilaian pada setiap sub-skala dalam rentang 0-100. Skor akhir Overall Workload dihitung dengan menjumlahkan dan merata-ratakan keenam skor sub-skala tersebut, yang kemudian dapat diinterpretasikan sebagai: Ringan (0-29), Sedang (30-49), Tinggi (50-79), dan Sangat Tinggi (80-100).

Kerangka Macroergonomic Analysis of Structure (MAS) (Hendrick & Kleiner, 2001) digunakan untuk menganalisis hasil penelitian secara holistik. Analisis difokuskan pada identifikasi ketidaksesuaian (mis-fit) antara subsistem-subsistem berikut:

1. Subsistem Teknologi

- Menganalisis kesesuaian sumber kebisingan (mesin gerinda) dengan tugas mengetik.
- 2. Substistem Lingkungan Fisik
 - Menganalisis kesesuaian tingkat pencahayaan dan kebisingan dengan kebutuhan tugas dan kapasitas manusia.
- 3. Substistem Personal
 - a) Menganalisis dampak lingkungan kerja terhadap beban fisiologis dan mental partisipan.
 - b) Menganalisis keselarasan antara tuntutan tugas mengetik dengan kondisi fisiologis dan mental yang dialami.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 2 mengonversi data waktu 10 denyut menjadi denyut nadi per menit, yang lebih mudah diinterpretasi. Rata-rata DNI adalah 80.2 BPM dan DNK adalah 99.1 BPM. Kenaikan yang jelas terlihat pada hampir semua responden. Beberapa responden menunjukkan kenaikan yang sangat tajam (DNK > 110), mengindikasikan beban fisiologis yang berat. Data inilah yang digunakan untuk mengkategorikan beban kerja dan menghitung %CVL.

Tabel 2. Denyut Nadi Per Menit

| Responden | Denyut Nadi Istirahat | Denyut Nadi Kerja | Responden | Denyut Nadi Istirahat | Denyut Nadi Kerja | Responden | Denyut Nadi Istirahat | Denyut Nadi Kerja | Responden | Denyut Nadi Istirahat | Denyut Nadi Kerja |
|-----------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|-------------------|
| | | | | | | | | | 16 | | |
| | | | | | | | | | 16 | 92,02 | 103,27 |
| 1 | 80,97 | 88,76 | 6 | 84,15 | 94,79 | 11 | 97,09 | 98,85 | 17 | 78,64 | 85,84 |
| 2 | 72,82 | 78,84 | 7 | 84,75 | 104,35 | 12 | 101,35 | 141,84 | 18 | 83,22 | 116,28 |
| 3 | 85,84 | 89,42 | 8 | 76,24 | 90,23 | 13 | 100,67 | 113,42 | 19 | 90,23 | 97,56 |
| 4 | 70,75 | 99,83 | 9 | 77,42 | 99,17 | 14 | 90,36 | 115,16 | 20 | 101,18 | 132,16 |
| 5 | 66,74 | 110,91 | 10 | 73,08 | 77,62 | 15 | 105,45 | 118,11 | 21 | 90,77 | 95,24 |

Tabel 3 memperkirakan konsumsi energi berdasarkan denyut nadi, memberikan perspektif lain tentang beban kerja fisiologis. Konsumsi energi meningkat dari kondisi istirahat ke kerja. Sejalan dengan data denyut nadi, responden dengan kenaikan denyut nadi tertinggi juga menunjukkan peningkatan konsumsi energi yang besar. Ini memperkuat temuan bahwa lingkungan kerja simulasi menyebabkan peningkatan beban metabolik pada mahasiswa.

Tabel 3. Energi yang dikeluarkan

| Responden | Energi yang dikeluarkan (Istirahat) | Energi yang dikeluarkan (Kerja) | Responden | Energi yang dikeluarkan (Istirahat) | Energi yang dikeluarkan (Kerja) | Responden | Energi yang dikeluarkan (Istirahat) | Energi yang dikeluarkan (Kerja) | Responden | Energi yang dikeluarkan (Istirahat) | Energi yang dikeluarkan (Kerja) |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | 16 | | |
| | | | | | | | | | 16 | 3,69 | 4,47 |
| 1 | 3,04 | 3,49 | 6 | 3,22 | 3,87 | 11 | 4,03 | 4,15 | 17 | 2,92 | 3,31 |
| 2 | 2,64 | 2,93 | 7 | 3,25 | 4,55 | 12 | 4,33 | 8,05 | 18 | 3,16 | 5,52 |
| 3 | 3,31 | 3,53 | 8 | 2,80 | 3,58 | 13 | 4,28 | 5,27 | 19 | 3,58 | 4,06 |
| 4 | 2,55 | 4,22 | 9 | 2,86 | 4,17 | 14 | 3,59 | 5,42 | 20 | 4,32 | 7,02 |
| 5 | 2,38 | 5,07 | 10 | 2,65 | 2,87 | 15 | 4,63 | 5,68 | 21 | 3,61 | 3,90 |

Tabel 4 adalah inti dari analisis beban kerja fisiologis. %CVL mengkuantifikasi beban kerja jantung. Sebanyak 8 dari 21 responden (atau 38%) memiliki %CVL di atas 15%, yang dikategorikan sebagai "Diperlukan Perbaikan". Bahkan, Responden 12 (41.05%) dan 20 (40.86%) memiliki %CVL > 30%, yang termasuk dalam kategori "Berat". Hal ini membuktikan bahwa paparan kombinasi kebisingan 90 dB dan pencahayaan 10 Lux secara signifikan meningkatkan beban kerja kardiovaskular.

Tabel 4. Cardiovascular Strain Index

| Responden | CVL | Responden | CVL | Responden | CVL | Responden | CVL |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | 16 | 10,42 |
| 1 | 6,49 | 6 | 9,26 | 11 | 2,12 | 17 | 6,08 |
| 2 | 4,74 | 7 | 17,16 | 12 | 41,05 | 18 | 28,80 |
| 3 | 3,17 | 8 | 11,30 | 13 | 12,84 | 19 | 6,93 |
| 4 | 22,85 | 9 | 21,00 | 14 | 22,62 | 20 | 40,86 |
| 5 | 38,99 | 10 | 3,58 | 15 | 13,39 | 21 | 4,95 |

Untuk melengkapi analisis dampak lingkungan kerja, beban kerja mental diukur menggunakan kuesioner NASA-TLX (Task Load Index) yang diisi oleh 21 mahasiswa setelah menyelesaikan tugas mengetik *under pressure* dalam kondisi lingkungan yang telah ditetapkan. NASA-TLX mengukur beban kerja berdasarkan enam sub-skala: Kebutuhan Mental (KM), Kebutuhan Fisik (KF), Kebutuhan Waktu (KW), Performansi (P), Tingkat Usaha (TU), Tingkat Frustrasi (TF). Hasil perhitungan WWL pada tabel 5 merupakan perkalian antara rating dan bobot yang didapatkan. Kategori didapatkan dari nilai Skor NASA TLX yang merupakan akumulasi dari nilai rating dan bobot.

Tabel 5. Skor NASA TLX

| No | WWL | | | | | | Jumlah | SKOR NASA TLX | Kategori |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|---------------|----------|
| | KM | KF | KW | P | TU | TF | | | |
| 1 | 180 | 70 | 261 | 440 | 352 | 0 | 1303 | 86,87 | Tinggi |
| 2 | 450 | 0 | 213 | 71 | 154 | 312 | 1200 | 80,00 | Tinggi |
| 3 | 240 | 150 | 140 | 480 | 320 | 0 | 1330 | 88,67 | Tinggi |
| 4 | 200 | 75 | 500 | 396 | 276 | 0 | 1447 | 96,47 | Tinggi |
| 5 | 234 | 76 | 130 | 210 | 396 | 0 | 1046 | 69,73 | Sedang |
| 6 | 400 | 0 | 300 | 100 | 200 | 300 | 1300 | 86,67 | Tinggi |
| 7 | 200 | 100 | 400 | 200 | 300 | 150 | 1350 | 90,00 | Tinggi |
| 8 | 200 | 0 | 300 | 300 | 300 | 400 | 1500 | 100,00 | Tinggi |
| 9 | 180 | 0 | 320 | 200 | 300 | 60 | 1060 | 70,67 | Tinggi |
| 10 | 180 | 30 | 225 | 255 | 200 | 300 | 1190 | 79,33 | Tinggi |
| 11 | 320 | 200 | 360 | 180 | 200 | 70 | 1330 | 88,67 | Tinggi |
| 12 | 200 | 100 | 400 | 400 | 400 | 0 | 1500 | 100,00 | Tinggi |
| 13 | 300 | 180 | 100 | 400 | 300 | 100 | 1380 | 92,00 | Tinggi |
| 14 | 231 | 152 | 72 | 96 | 44 | 264 | 859 | 57,27 | Sedang |
| 15 | 270 | 100 | 200 | 400 | 300 | 200 | 1470 | 98,00 | Tinggi |
| 16 | 162 | 96 | 68 | 240 | 300 | 0 | 866 | 57,73 | Sedang |
| 17 | 130 | 86 | 176 | 90 | 234 | 148 | 864 | 57,60 | Sedang |
| 18 | 200 | 100 | 100 | 500 | 400 | 200 | 1500 | 100,00 | Tinggi |
| 19 | 130 | 86 | 86 | 105 | 4 | 0 | 411 | 27,40 | Rendah |
| 20 | 96 | 44 | 84 | 93 | 500 | 100 | 917 | 61,13 | Sedang |
| 21 | 300 | 300 | 200 | 400 | 300 | 0 | 1500 | 100,00 | Tinggi |

Setelah didapatkan skor beban fisiologis dan beban mental, hal selanjutnya adalah melihat hubungan antara indikator yang diukur mulai dari suhu, kebisingan, pencahayaan dan dampaknya terhadap produktivitas aktivitas mahasiswa saat melakukan simulasi lingkungan kerja di Laboratorium Ergonomi. Tabel 6 merupakan hasil Uji Anova 2 arah dengan menganalisis pengaruh kelompok (berdasarkan urutan percobaan atau kelompok

praktikum) terhadap jumlah kesalahan mengetik. Rata-rata kesalahan mengetik antar kelompok mahasiswa tampak berbeda (dari 4.4 hingga 9 kesalahan).

Tabel 6. Uji Anova 2 Arah

| SUMMARY | | | | |
|-----------|-------|-----|---------|----------|
| Groups | Count | Sum | Average | Variance |
| R1 - R5 | 5 | 33 | 6,6 | 8,8 |
| R6 - R10 | 5 | 25 | 5 | 13,5 |
| R11 - R15 | 5 | 22 | 4,4 | 2,8 |
| R16 - R21 | 6 | 54 | 9 | 23,2 |

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------|----------|----|----------|---------|----------|----------|
| Source of Variation | SS | df | MS | F | P-value | F crit |
| Between Groups | 70,55238 | 3 | 23,51746 | 1,84749 | 0,176873 | 3,196777 |
| Within Groups | 216,4 | 17 | 12,72941 | | | |
| Total | 286,9524 | 20 | | | | |

Hasil uji ANOVA Two-Way menunjukkan nilai p-value (0.177) yang lebih besar dari 0.05. Ini berarti tidak ada perbedaan yang signifikan secara statistik dalam jumlah kesalahan mengetik antar kelompok. Nilai F (1.847) yang lebih kecil dari F crit (3.197) menguatkan kesimpulan ini. Meskipun lingkungan kerja menyebabkan stres fisiologis yang nyata (terbukti dari kenaikan %CVL), dampaknya terhadap akurasi atau produktivitas (dalam tugas mengetik ini) tidak seragam atau tidak signifikan secara statistik. Hal ini dapat didiskusikan lebih lanjut, misalnya karena tugas mengetik mungkin lebih tahan terhadap gangguan dibandingkan tugas kognitif kompleks lainnya, atau adanya variasi individu dalam kemampuan berkonsentrasi *under pressure*.

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan beban kerja fisiologis yang signifikan, yang diindikasikan oleh kenaikan %CVL, meskipun suhu lingkungan berada pada 24°C yang secara termal tergolong nyaman. Dari perspektif Kesehatan fisiologi kerja, temuan ini menggarisbawahi konsep allostatic load (McEwen, 2017), di mana tubuh mengalami beban fisiologis kronis untuk mempertahankan homeostasis dalam menghadapi stresor yang persisten. Dalam konteks ini, suhu yang nyaman tidak mengkompensasi dampak stresor lainnya. Sebaliknya, tubuh partisipan tetap harus bekerja keras untuk mengatur sirkulasi darah dan suhu inti, sementara secara simultan juga berusaha mengkompensasi gangguan dari kebisingan dan pencahayaan yang buruk. Respons kardiovaskular (peningkatan denyut nadi dan %CVL) ini adalah manifestasi fisiologis dari upaya tubuh untuk memenuhi tuntutan metabolik dan oksigen yang meningkat di bawah tekanan lingkungan gabungan (Widyanti et al., 20206). Dengan kata lain, sistem kardiovaskular dipaksa untuk "bekerja lembur" bukan karena panas, tetapi sebagai respons terhadap stresor psiko-fisiologis yang dihasilkan oleh lingkungan kerja yang tidak optimal. Hal ini memiliki implikasi kesehatan jangka panjang, dimana paparan terus-menerus terhadap kondisi serupa dapat berkontribusi pada peningkatan risiko gangguan kardiovaskuler, kelelahan kronis, dan penurunan resiliensi (ketahanan) fisiologis (Sterling & Eyer, 2021).

Skor NASA-TLX yang sangat tinggi (81.3) secara jelas merefleksikan dampak sinergis dari kondisi lingkungan yang buruk terhadap kondisi psikologis dan kognitif partisipan. Kombinasi kebisingan 90 dB dan pencahayaan 10 Lux menciptakan sebuah lingkungan yang secara kognitif sangat memeras tenaga (cognitively draining). Kebisingan berperan sebagai distractor auditory yang konstan, yang memaksa sistem kognitif untuk menyaring informasi yang tidak relevan, sehingga meningkatkan skor Mental Demand dan Effort (Nugroho dan sari, 2023).

Sementara itu, pencahayaan yang sangat rendah (10 Lux) memaksa sistem visual untuk bekerja ekstra keras, meningkatkan ketegangan mata dan berkontribusi lebih lanjut pada Mental Demand serta Frustration (Rachman dan Dewi, 2021). Suhu 24°C, meskipun nyaman, menjadi konteks yang "menipu". Dalam lingkungan yang ideal, suhu ini akan mendukung kinerja. Namun, dalam konfigurasi stresor ganda ini, kenyamanan termal justru menyoroti fakta bahwa beban mental dan fisiologis yang dialami murni bersumber dari ketidakcocokan desain lingkungan kerja, bukan karena ketidaknyamanan panas. Hal ini tercermin dari rendahnya skor Physical Demand namun tingginya skor Effort dan Frustration, yang menunjukkan bahwa partisipan mengerahkan upaya mental yang sangat besar (compensatory effort) untuk mempertahankan kinerja mereka di tengah kondisi yang

sangat tidak mendukung. Kondisi stres psikologis kronis seperti ini merupakan faktor risiko utama untuk berkembangnya masalah kesehatan mental seperti kecemasan, burnout, dan gangguan tidur (Nielsen et al., 2021). Rekomendasi perbaikan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Rekomendasi Perbaikan Lingkungan Kerja Berdasarkan MAS

| Subsistem MAS | Dampak Terhadap Kesehatan | Rekomendasi |
|--|---|--|
| Subsistem Manusia (Personal) | Peningkatan denyut nadi dan %CVL yang signifikan, berisiko menyebabkan hipertensi dan kelelahan kronis. | Implementasi istirahat singkat setiap 20 menit untuk memutus paparan stresor terus-menerus. |
| | Beban mental tinggi (NASA-TLX) meningkatkan risiko kecemasan, frustrasi, penurunan konsentrasi, dan burnout. | Memberikan pelatihan adaptasi terhadap lingkungan kerja yang berisik dan redup, serta teknik manajemen stres. Melakukan pemeriksaan kesehatan berkala, terutama kesehatan jantung dan pendengaran, bagi individu yang sering terpapar. |
| Subsistem Teknologi | Paparan kebisingan mesin gerinda (90 dB) berisiko menyebabkan Noise Induced Deafness. | Memasang peredam suara (acoustic enclosure) pada mesin gerinda atau memindahkan mesin ke area terpisah. |
| | Sumber kebisingan yang tidak relevan dengan tugas (mengetik) memaksa otak bekerja lebih keras untuk mempertahankan fokus. | Menyediakan dan mewajibkan penggunaan penutup telinga (earplug atau earmuff) yang memadai. Menyediakan meja dan keyboard yang ergonomis, serta software yang meminimalkan beban kognitif |
| Subsistem Lingkungan Fisik (Eksternal) | Pencahayaannya 10 Lux yang sangat rendah menyebabkan mata bekerja ekstra, menimbulkan ketegangan, sakit kepala, dan penurunan akurasi visual. | Meningkatkan tingkat pencahayaan umum hingga standar yang direkomendasikan untuk pekerjaan kantor/ketik (minimal 300-500 Lux) dan menyediakan lampu meja (task lighting) untuk setiap workstation. |
| | Kombinasi kebisingan dan pencahayaan buruk menciptakan lingkungan kerja yang sinergis dalam meningkatkan beban fisiologis dan mental. | Memastikan kontrol suhu tetap pada kisaran nyaman (24°C) sambil secara ketat mengelola faktor kebisingan dan pencahayaan. Mengembangkan dan menerapkan prosedur operasional standar (POS) yang mencakup pemantauan rutin terhadap tingkat kebisingan, pencahayaan, dan suhu di lingkungan laboratorium/kerja. |

Analisis dengan pendekatan MAS dalam simulasi laboratorium menegaskan bahwa kegagalan desain sistem kerja, yang ditandai dengan ketidakcocokan antara karakteristik subsistem teknologi (mesin gerinda bising) dan kebutuhan subsistem personal (mahasiswa pelaku tugas mengetik), berakibat pada timbulnya masalah kompleks. Desain yang keliru ini tidak hanya mengancam integritas fisiologis operator dalam bentuk paparan risiko kebisingan, tetapi juga secara simultan memperberat beban mental, sehingga mengkompromikan baik keselamatan maupun kinerja secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Simulasi lingkungan kerja dengan paparan kombinasi kebisingan (90 dB) dan pencahayaan rendah (10 Lux) di Laboratorium Ergonomi terbukti secara signifikan meningkatkan beban kerja fisiologis dan mental mahasiswa. Secara fisiologis, hal ini ditunjukkan oleh kenaikan denyut nadi dimana 38% partisipan mengalami beban kardiovaskular (%CVL) dalam kategori "Diperlukan Perbaikan" dan dua partisipan bahkan mencapai kategori "Berat". Secara mental, 85.7% partisipan melaporkan beban kerja tinggi hingga sangat tinggi berdasarkan pengukuran NASA-TLX. Analisis dengan pendekatan Macroergonomic Analysis of Structure (MAS) mengidentifikasi akar masalahnya adalah ketidaksesuaian sistemik antara subsistem teknologi (sumber kebisingan), subsistem lingkungan fisik (pencahayaan buruk), dan subsistem personal (kebutuhan mahasiswa). Oleh karena itu, disimpulkan bahwa perbaikan yang efektif dan berkelanjutan harus bersifat komprehensif, tidak hanya pada level individu, meliputi modifikasi lingkungan kerja, penyesuaian desain tugas, dan implementasi kebijakan K3 yang terintegrasi untuk menciptakan sistem kerja yang ergonomis, sehat, dan mendukung produktivitas.

5. REFERENSI

Febriansyah, F., & Dewi, D. S. (2024). Analisis Beban Kerja pada Industri Jasa dengan Pendekatan Macroergonomics Analysis of Structure (MAS). *Jurnal Manajemen dan Teknologi Industri*, 12(1), 45-60.

- Gawron, V. J. (2019). *Human Performance, Workload, and Situational Awareness Measures Handbook* (3rd ed.). CRC Press.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139–183). North Holland Press.
- Hendrick, H. W., & Kleiner, B. M. (2001). *Macroergonomics: An Introduction to Work System Design*. Human Factors and Ergonomics Society.
- Nugroho, Y. A., & Sari, A. D. (2023). Analisis Beban Kerja Mental dan Fisiologis pada Pekerja di Lingkungan Berisik Menggunakan Metode NASA-TLX dan Heart Rate. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 22(1), 15-26.
- McEwen, B. S. (2017). Neurobiological and systemic effects of chronic stress. *Chronic Stress*, 1, 1-11.
- Modul Ergonomi dan Perancangan Kerja Teknik Industri. (2025). Universitas Negeri Gorontalo.
- Nielsen, K., Jørgensen, M. B., & Milczarek, M. (2021). *The Future of Occupational Safety and Health in the European Union: A Review*. European Agency for Safety and Health at Work.
- Rachman, I. A., & Dewi, D. S. (2021). Pengaruh Pencahayaan terhadap Beban Kerja Mental dan Kelelahan Mata pada Pekerja Kantor. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri (JRSI)*, 8(2), 89-98.
- Sterling, P., & Eyer, J. (2021). Allostasis: A new paradigm to explain arousal pathology. In S. Fisher & J. Reason (Eds.), *Handbook of Life Stress, Cognition and Health* (pp. 629–649). John Wiley & Sons.
- Sutalaksana, I. (2006). *Teknik Perancangan Sistem Kerja*. ITB Press.
- Widyanti, A., Johnson, A., & de Waard, D. (2020). The effects of noise on physiological response and performance: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 78, 102983.