

# Analisis Kelelahan Kerja: Integrasi NASA-TLX dan Metrik Fisiologis dalam Evaluasi Beban Mental dan Fisik Praktikan Permesinan

Nabila Yudisha<sup>1</sup>, Sepriandi Parningotan<sup>2\*</sup>, Dhiya Luqyana<sup>3</sup>, Bayu Asta Tarrosa<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia  
Corresponding Email: sepriandi.parningotan@mesin.pnj.ac.id

Artikel diterima: Maret 2026 | Tanggal direvisi: Mei 2026 | Tanggal terbit: Juni 2026

## Abstrak

Kelelahan kerja merupakan kondisi multidimensional yang mencakup aspek fisik, mental, dan kognitif akibat beban aktivitas yang melebihi kapasitas individu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kelelahan mahasiswa praktik permesinan dengan mengombinasikan metode subjektif NASA-TLX dan metode fisiologis melalui pengukuran denyut jantung (*Heart Rate*) serta konsumsi oksigen. Penelitian dilakukan terhadap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin yang mengikuti kegiatan praktik di bengkel, dengan pengumpulan data melalui kuesioner dan pengukuran denyut jantung pada tiga kondisi: sebelum, saat, dan sesudah praktik. Hasil analisis NASA-TLX menunjukkan bahwa tingkat beban kerja mental berada pada kategori tinggi dengan skor rata-rata 64, menandakan tuntutan kognitif dan fisik yang besar selama kegiatan berlangsung. Pengukuran fisiologis memperlihatkan peningkatan konsumsi energi dari 0,90 kkal/menit sebelum praktik menjadi 1,02 kkal/menit saat praktik, lalu menurun menjadi 0,94 kkal/menit setelahnya. Temuan ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas metabolik dan beban kerja selama praktik. Keselarasan antara hasil subjektif dan objektif menegaskan bahwa beban kerja mahasiswa cukup tinggi, sehingga diperlukan evaluasi sistem pembelajaran praktik agar keseimbangan antara tuntutan fisik dan mental dapat tercapai.

**Kata kunci:** Kelelahan kerja, Beban kerja mental, NASA-TLX, Denyut jantung, Konsumsi oksigen, Beban kerja mahasiswa.

## 1. Pendahuluan

Kelelahan kerja merupakan salah satu permasalahan krusial dalam lingkungan pendidikan vokasi, khususnya pada kegiatan praktik di bengkel atau laboratorium yang melibatkan interaksi intensif antara mahasiswa dan mesin produksi. Pendidikan vokasi menuntut mahasiswa tidak hanya memiliki pemahaman teoritis, tetapi juga keterampilan praktis yang tinggi melalui kegiatan manipulatif yang kompleks dan repetitif. Kondisi ini menempatkan mahasiswa pada situasi kerja yang serupa dengan industri, di mana mereka terpapar pada berbagai beban kerja yang bervariasi, baik yang bersifat fisik maupun mental. Beban kerja yang berlebihan dan tidak diimbangi dengan waktu pemulihan yang cukup dapat memicu timbulnya kelelahan kerja (*work fatigue*), yang pada gilirannya dapat menurunkan performa akademis, meningkatkan risiko kesalahan operasional, hingga memicu terjadinya kecelakaan kerja di area bengkel.

Kelelahan kerja bersifat multidimensional, melibatkan interaksi kompleks antara penurunan kapasitas fisik dan penurunan fungsi kognitif. Dalam konteks praktik permesinan, beban fisik muncul dari aktivitas statis maupun dinamis seperti berdiri dalam waktu lama, melakukan penyesuaian posisi pahat, serta mengangkat benda kerja atau peralatan berat. Di sisi lain, beban kognitif dan beban mental juga sangat signifikan karena mahasiswa dituntut untuk mempertahankan fokus dan konsentrasi tinggi guna menjaga akurasi pemotongan, membaca gambar teknik secara simultan, serta memastikan seluruh prosedur keselamatan kerja dipenuhi dengan ketat. Mengingat kompleksitas tuntutan

tersebut, evaluasi kelelahan tidak dapat dilakukan hanya dari satu sudut pandang, melainkan harus mengintegrasikan pendekatan subjektif untuk menangkap persepsi psikologis individu serta metode objektif untuk mengukur respon fisiologis tubuh secara langsung.

Penelitian terdahulu telah banyak menggunakan metode NASA-*Task Load Index* (NASA-TLX) sebagai instrumen subjektif yang efektif untuk mengukur beban kerja mental di berbagai sektor. NASA-TLX membagi beban kerja ke dalam enam dimensi utama, yaitu tuntutan mental, tuntutan fisik, tuntutan waktu, performa, tingkat usaha, dan tingkat frustrasi. Metode ini memiliki keunggulan dalam memberikan gambaran terperinci mengenai faktor psikologis apa yang paling mendominasi persepsi beban kerja seseorang. Namun, penilaian yang bersifat subjektif murni berpotensi bias karena sangat dipengaruhi oleh faktor emosional, latar belakang, dan ambang batas toleransi individu terhadap stres pada saat pengisian kuesioner berlangsung.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, integrasi dengan metrik fisiologis objektif menjadi sangat penting guna meningkatkan validitas dan akurasi evaluasi. Pengukuran denyut jantung (*heart rate*) dan konsumsi oksigen merupakan indikator fisiologis yang sensitif terhadap perubahan beban kerja fisik dan stres metabolik. Ketika seseorang mengalami peningkatan beban kerja, sistem saraf simpatis akan merespon dengan meningkatkan frekuensi denyut jantung untuk mengoptimalkan distribusi oksigen dan nutrisi ke jaringan otot yang aktif. Dengan menggabungkan skor subjektif NASA-TLX dan data perubahan metrik fisiologis, evaluasi beban kerja dapat dilakukan secara lebih holistik, sehingga menghasilkan kesimpulan yang lebih kuat mengenai kondisi kelelahan yang dialami oleh praktikan.

Di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, mata kuliah praktik permesinan merupakan pilar utama dalam pembentukan kompetensi teknis mahasiswa. Berdasarkan observasi awal, kegiatan praktikum berlangsung dalam durasi yang cukup panjang dan membutuhkan keterlibatan fisik serta mental yang intens. Meskipun demikian, kajian mendalam mengenai evaluasi beban kerja komprehensif yang mengintegrasikan aspek subjektif dan objektif fisiologis pada mahasiswa praktikan masih sangat terbatas. Sebagian besar evaluasi pembelajaran masih berfokus pada capaian nilai akademis dan aspek psikomotorik kasar, tanpa mempertimbangkan kapasitas ergonomis dan tingkat kelelahan mahasiswa.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kelelahan kerja mahasiswa praktik permesinan melalui pendekatan integratif yang menggabungkan metode NASA-TLX dan analisis metrik fisiologis (denyut jantung dan konsumsi oksigen). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa data empiris mengenai profil beban kerja mahasiswa vokasi, serta menjadi landasan rekomendasi bagi pengelola bengkel dan dosen pengampu dalam merancang intervensi ergonomis, penjadwalan waktu istirahat yang optimal, dan penyesuaian beban tugas guna menciptakan lingkungan pembelajaran praktik yang sehat, aman, dan produktif.

Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan korelasi yang signifikan antara indikator subjektif dan objektif, yang pada akhirnya dapat digunakan untuk menyusun strategi mitigasi risiko kelelahan yang lebih efektif dan aplikatif di lingkungan pendidikan vokasional.

## 2. Metode

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah NASA-TLX dan metode fisiologis (pengukuran detak jantung dan konsumsi oksigen).

Metode NASA-TLX dikembangkan oleh Sandra G. Hart dari NASA-Ames Research Center dan Lowell E. Staveland dari San Jose State University pada tahun 1988. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi beban kerja perseptual (subjektif) dan secara luas dianggap sebagai salah satu metode paling andal dalam menilai persepsi beban kerja (Dewi & Prabaswari, 2024). Instrumen ini berbentuk kuesioner yang dikembangkan sebagai respons terhadap kebutuhan akan metode pengukuran subjektif yang lebih praktis namun tetap sensitif dalam menilai tingkat beban kerja (Primasari & Herlina, 2024). Secara keseluruhan, NASA-TLX merupakan metode analisis beban kerja mental yang menggunakan kuesioner untuk menilai berbagai faktor yang memengaruhi performa kerja seseorang. Metode ini terdiri atas enam indikator utama, yaitu *mental demand*, *physical demand*, *temporal demand*, *own performance*, *effort*, dan *frustration level* (Saddam & Rahman, 2022).

**Tabel 1 Indikator Beban Kerja NASA-TLX**

| Skala                | Deskripsi  |
|----------------------|--|
| Mental Demand (MD)   | Seberapa besar aktivitas mental dan perseptual yang dibutuhkan untuk melihat, mengingat dan mencari. (Contoh: berpikir, memutuskan, menghitung, mengingat, melihat, mencari). Apakah pekerjaan tersebut sulit, sederhana atau kompleks, longgar atau ketat |
| Physical Demand (PD) | Seberapa besar aktivitas fisik yang dibutuhkan (misalnya mendorong, menarik dan mengontrol putaran). Apakah pekerjaan mudah atau penuh tuntutan? Lambat atau cepat, longgar atau sibuk, tenang atau melelahkan?  |
| Temporal Demand (TD) | Jumlah tekanan yang berkaitan dengan waktu yang dirasakan selama elemen pekerjaan berlangsung. Apakah pekerjaan perlahan atau santai atau cepat dan melelahkan   |
| Own Performance (OP) | Seberapa besar keberhasilan seseorang di dalam menyelesaikan pekerjaannya dan seberapa puas dengan hasil kerjanya  |
| Effort (EF)          | Seberapa keras kerja mental dan fisik yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan  |
| Frustration (FR)     | Seberapa besar rasa tidak aman, putus asa, tersinggung, terganggu, dibandingkan dengan perasaan aman, puas, nyaman dan kepuasan diri yang dirasakan  |

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuesioner NASA-TLX serta melakukan pengukuran denyut jantung yang berkaitan dengan tingkat kelelahan kerja pada mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Proses pengisian kuesioner dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap pembobotan dan tahap pemberian rating (Alfindo & Setiawan, 2022). Pada tahap pembobotan, responden diminta untuk memilih aspek beban kerja yang dianggap paling dominan dalam pekerjaannya (Mohammadian & Choobineh, 2022). Instrumen NASA-TLX menggunakan metode perbandingan berpasangan yang terdiri atas 15 kombinasi pasangan aspek. Setiap kali responden memilih satu aspek yang lebih dominan, pilihan tersebut dicatat sebagai *tally*. Jumlah *tally* dari masing-masing aspek kemudian dihitung dan digunakan sebagai bobot dalam penilaian beban kerja mental (Masniar & Siregar, 2022).

Dalam penelitian ini digunakan metode NASA-TLX versi adaptasi. Penentuan bobot tiap aspek tidak dilakukan melalui perbandingan berpasangan, melainkan ditetapkan langsung oleh peneliti berdasarkan relevansi masing-masing aspek terhadap konteks kegiatan yang diamati. Pendekatan ini digunakan untuk menyederhanakan proses pengisian kuesioner serta memastikan kesesuaian antara aspek penilaian dan karakteristik tugas responden.

Pada tahap pemberian rating responden diminta untuk memberikan nilai (*rating*) terhadap keenam aspek beban kerja mental NASA-TLX pada skala 0 hingga 100 dengan kelipatan lima (Azzahra & Wijaya, 2025). Nilai skala tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi angka yang diberikan, maka semakin besar pula tingkat tuntutan atau beban kerja mental yang dirasakan oleh responden. Dalam penelitian ini, penentuan *rating* dilakukan dengan mengonversi jawaban responden dari skala Likert 1–5 menjadi interval pada skala 0–100. Setiap kategori jawaban kualitatif, seperti “sangat tidak lelah” hingga “sangat lelah”, dikonversi menjadi nilai numerik dalam rentang 20–100. Konversi ini bertujuan agar data kualitatif dapat diolah secara kuantitatif serta tetap konsisten dengan format skala pada metode NASA-TLX asli.

Tahap berikutnya adalah perhitungan skor beban kerja keseluruhan berdasarkan hasil pembobotan dan pemberian rating pada kuesioner NASA-TLX. Langkahnya adalah sebagai berikut (Alfani, 2023):

1. **Menghitung Nilai Produk:** Tahap ini dilakukan dengan mengalikan nilai *rating* dengan bobot pada masing-masing aspek penilaian. Hasil dari proses tersebut menghasilkan enam nilai perkalian untuk enam aspek beban kerja, yaitu Mental Demand (MD), Physical Demand (PD), Temporal Demand (TD), Own Performance (OP), Effort (EF), dan Frustration (FR).

$$\text{Produk} = \text{Rating} \times \text{Bobot} \quad (1)$$

2. **Menghitung Nilai *Weighted Workload* (WWL):** Tahap ini dilakukan dengan menjumlahk-

an keenam nilai produk yaitu Mental Demand (MD), Physical Demand (PD), Temporal Demand (TD), Own Performance (OP), Effort (EF), dan Frustration (FR).

$$WWL = \sum \text{Produk} \quad (2)$$

3. **Menghitung Nilai Rata – Rata *Weighted Workload*:** Tahap ini dilakukan dengan membagi skor WWL dengan jumlah bobot total.

$$\text{Skor} = \frac{WWL}{15} \quad (3)$$

4. **Menginterpretasikan Skor Kategori Beban Kerja:** Berdasarkan penjelasan dalam teori NASA-TLX, skor beban kerja yang diperoleh terbagi dalam tabel interpretasi skor.

**Tabel 2 Interpretasi Skor NASA-TLX**

| Golongan Beban Kerja | Nilai    |
|----------------------|----------|
| Sangat Rendah        | 0 - 20   |
| Rendah               | 21 - 40  |
| Sedang               | 41 - 60  |
| Tinggi               | 61 - 80  |
| Sangat Tinggi        | 81 - 100 |

Metode penelitian fisiologis dilakukan dengan menghitung energi yang dikeluarkan (*energy expenditure*) selama aktivitas kerja (Fathimahhayati, Pawitra, & Purnomo, 2023). Konsumsi energi ini terjadi akibat proses metabolisme pada otot yang didukung oleh sistem pernapasan dan sistem kardiovaskular (Tri Sanjaya, Kalista, Rizal, Fadillah, & Suherman, 2022). Pengukuran konsumsi energi didasarkan pada nilai denyut nadi jantung sebelum bekerja, saat bekerja, dan setelah bekerja, yang mencerminkan asupan oksigen selama aktivitas. Semakin berat beban kerja, semakin besar pula energi yang dikonsumsi tubuh.

Pengukuran dilakukan dengan mencatat denyut nadi selama proses kerja. Penggunaan denyut nadi kerja sebagai indikator beban kerja fisik memiliki beberapa keunggulan, antara lain mudah dilakukan, cepat, murah, tidak memerlukan peralatan mahal, serta hasilnya cukup reliabel dan tidak menimbulkan ketidaknyamanan bagi responden. Tingkat berat-ringannya beban kerja dapat diketahui dengan menghitung denyut nadi kerja dan konsumsi oksigen. Denyut nadi yang digunakan untuk mengestimasi indeks beban kerja fisik terdiri atas beberapa komponen, yaitu:

- **Denyut Nadi Istirahat (DNI):** rata-rata denyut nadi sebelum pekerjaan dimulai atau saat kondisi istirahat.
- **Denyut Nadi Kerja (DNK):** rata-rata denyut nadi selama kegiatan kerja berlangsung.
- **Denyut Nadi Setelah Bekerja (DNS):** rata-rata denyut nadi setelah pekerjaan selesai dilakukan.

Denyut nadi jantung bisa dikonversi ke dalam bentuk energi, berupa persamaan regresi yang menyatakan korelasi energi dengan laju denyut nadi jantung. Notasi Y adalah energi (kilokalori / menit), notasi X adalah banyaknya denyut nadi jantung (denyut / menit). Jumlah energi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Sativa & Zeki, 2025):

$$Y = 1,080411 - 0,0229038 \times X + 0,000471733 \times 10^{-4} \times X^2 \quad (4)$$

Di mana:

Y = Energi yang dikeluarkan (Kkal/menit)

X = Denyut jantung (Denyut/menit)

Bentuk persamaan konsumsi energi diperoleh dari selisih energi yang dikeluarkan selama bekerja dan selama istirahat dengan dapat dilihat pada (Agustina & Prasetyo, 2023):

$$KE = E_t - E_i \quad (5)$$

Di mana:

KE = Konsumsi energi untuk kegiatan kerja tertentu (Kkal/menit)

$E_t$  = Pengeluaran energi pada waktu kerja tertentu (Kkal/menit)

$E_i$  = Pengeluaran energi pada waktu istirahat (Kkal/menit)

Denyut nadi jantung berperan sebagai indikator fisiologis yang mencerminkan tingkat kerja sistem kardiovaskular. Peningkatan denyut nadi menunjukkan meningkatnya kebutuhan oksigen oleh jaringan tubuh, sehingga konsumsi oksigen dapat digunakan sebagai parameter lanjutan untuk menilai besarnya energi yang dikeluarkan selama aktivitas. Analisis beban kerja fisiologis digunakan untuk menilai tingkat kelelahan dan kebutuhan istirahat pekerja. Pendekatan ini menjadi indikator penting dalam menilai kesesuaian antara tuntutan kerja and kapasitas fisik individu (Alius & Ramadhan, 2025). Salah satu metode yang digunakan adalah pengukuran denyut nadi (*heart rate*) dan konsumsi oksigen (*oxygen consumption*) karena keduanya memiliki hubungan linier yang mencerminkan energi yang dikeluarkan tubuh selama bekerja. Nilai konsumsi oksigen dikonversi menjadi energi dengan asumsi 1 liter  $O_2 \approx 4,8$  kilokalori. Besarnya konsumsi oksigen pada aktivitas kerja dihitung menggunakan persamaan interpolasi linier antara batas nilai detak jantung dan konsumsi oksigen sebagai berikut:

$$\frac{2,0 - 1,5}{x - 1,5} = \frac{150 - 125}{\text{Denyut Nadi} - 125} \quad (6)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis berdasarkan data kuesioner NASA-TLX yang diisi oleh mahasiswa semester 1, 3, dan 6 menunjukkan bahwa tingkat beban kerja mental secara keseluruhan berada pada kategori *tinggi* dengan skor rata-rata sebesar **64** (Saddam & Rahman, 2022). Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan rata-rata rating tiap aspek, yaitu Mental Demand (MD), Physical Demand (PD), Temporal Demand (TD), Own Performance (OP), Effort (EF), dan Frustration Level (FR) (Saddam & Rahman, 2022). Oleh karena itu, perlu adanya usulan perbaikan yang dapat membantu para Mahasiswa/I untuk meminimalisir rasa stres sehingga hal-hal yang mempengaruhi tingginya beban kerja mental dapat diminimalisir serta di antisipasi.

**Tabel 3 Hasil Pengukuran Praktikan Semester 1, 3 dan 6**

| No | Semester | Aspek | Bobot | Rating Rata - rata | Rating x bobot | WWL   | Skor | Kategori |
|----|----------|-------|-------|--------------------|----------------|-------|------|----------|
| 1  | 1        | MD    | 5     | 65                 | 325            | 962.5 | 64   | Tinggi   |
| 2  |          | PD    | 3     | 70                 | 210            |       |      |          |
| 3  |          | TD    | 2     | 50                 | 100            |       |      |          |
| 4  |          | OP    | 1     | 62.5               | 62.5           |       |      |          |
| 5  |          | EF    | 1     | 47.5               | 47.5           |       |      |          |
| 6  |          | FR    | 3     | 72.5               | 217.5          |       |      |          |
| 7  | 3        | MD    | 5     | 71.2               | 356            | 956   | 64   | Tinggi   |
| 8  |          | PD    | 3     | 68                 | 204            |       |      |          |
| 9  |          | TD    | 2     | 49.6               | 99.2           |       |      |          |
| 10 |          | OP    | 1     | 49.6               | 49.6           |       |      |          |
| 11 |          | EF    | 1     | 50.4               | 50.4           |       |      |          |
| 12 |          | FR    | 3     | 65.6               | 196.8          |       |      |          |
| 13 | 6        | MD    | 5     | 65.5               | 345            | 956   | 64   | Tinggi   |
| 14 |          | PD    | 3     | 65.5               | 195            |       |      |          |
| 15 |          | TD    | 2     | 52.5               | 111            |       |      |          |
| 16 |          | OP    | 1     | 61.5               | 61.5           |       |      |          |
| 17 |          | EF    | 1     | 45.5               | 45.5           |       |      |          |
| 18 |          | FR    | 3     | 66                 | 198            |       |      |          |

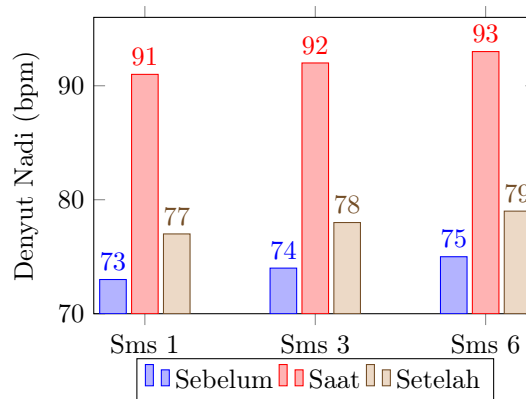
Sumber : Pengolahan Data Hasil Pengukuran (Masniar & Siregar, 2022)

Kategori beban kerja mental yang tinggi pada ketiga kelompok mahasiswa menunjukkan bahwa aktivitas akademik yang dijalani, seperti tugas teori, praktik bengkel, laporan, serta tuntutan waktu penyelesaian, memberikan tekanan yang relatif serupa di setiap tingkat semester. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran dan praktik yang dijalani mahasiswa menuntut tingkat konsentrasi dan

usaha mental yang cukup besar. Kondisi tersebut memperkuat perlunya evaluasi terhadap sistem pembelajaran praktik agar beban mental dapat diseimbangkan dengan kapasitas fisik dan kognitif mahasiswa.

Upaya untuk memperkuat hasil analisis subjektif dilakukan melalui pengukuran beban kerja fisiologis. Pendekatan ini bertujuan memberikan gambaran objektif mengenai tingkat kelelahan dan kebutuhan istirahat mahasiswa selama kegiatan praktik berlangsung. Sebelum data dianalisis lebih lanjut, dilakukan uji keseragaman untuk memastikan bahwa data denyut nadi yang diperoleh berada dalam batas wajar dan tidak menunjukkan penyimpangan ekstrem. Uji ini menggunakan batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) sebagai acuan dalam menentukan kestabilan data. Setelah data dinyatakan seragam, dilakukan perhitungan regresi untuk mengetahui besarnya energi yang dikeluarkan berdasarkan rata-rata denyut nadi mahasiswa sebelum, saat, dan setelah melakukan kerja praktik di bengkel. Nilai energi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung konsumsi oksigen sebagai indikator objektif tingkat beban kerja fisiologis.

Hasil uji keseragaman data denyut nadi mahasiswa sebelum, saat, dan sesudah praktik di bengkel menunjukkan bahwa seluruh data berada dalam batas kendali, yaitu di bawah Batas Kendali Atas (BKA) dan di atas Batas Kendali Bawah (BKB). Kondisi ini menandakan bahwa data yang diperoleh bersifat seragam dan tidak terdapat nilai ekstrem yang dapat memengaruhi hasil analisis. Dengan demikian, data dapat dinyatakan stabil serta layak digunakan untuk perhitungan regresi dan analisis beban kerja fisiologis berikutnya.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Denyut Nadi Mahasiswa

Perhitungan regresi dilakukan pada data yang diperoleh dari denyut nadi sebelum, saat, dan sesudah praktik bengkel. Persamaan yang digunakan, yaitu:

$$Y_1 = 1,080411 - 0,0229038 \times 95 + 0,000471733 \times 10^{-4} \times 95^2 = 3,88 \quad (7)$$

$$Y_2 = 1,080411 - 0,0229038 \times 101 + 0,000471733 \times 10^{-4} \times 101^2 = 4,31 \quad (8)$$

$$Y_3 = 1,080411 - 0,0229038 \times 97 + 0,000471733 \times 10^{-4} \times 97^2 = 4,03 \quad (9)$$

Setelah memperoleh hasil regresi, langkah berikutnya adalah menghitung konsumsi energi menggunakan persamaan:

$$KE = E_t - E_i = Y_3 - Y_2 = 4,31 - 4,03 = 0,28 \quad (10)$$

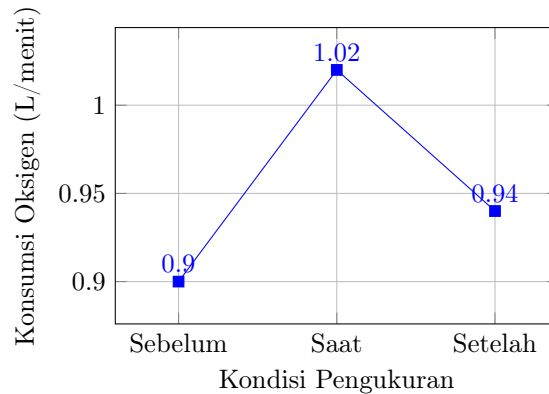
Selanjutnya dilakukan interpolasi linier terhadap data denyut nadi untuk memperoleh nilai konsumsi oksigen sebelum, saat, dan sesudah praktik dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{2,0 - 1,5}{x - 1,5} = \frac{150 - 125}{95 - 125} = 0,90 \quad (11)$$

$$\frac{2,0 - 1,5}{x - 1,5} = \frac{150 - 125}{101 - 125} = 1,02 \quad (12)$$

$$\frac{2,0 - 1,5}{x - 1,5} = \frac{150 - 125}{97 - 125} = 0,94 \quad (13)$$

Berdasarkan hasil perhitungan regresi dan interpolasi yang telah dilakukan terhadap data denyut nadi mahasiswa sebelum, saat, dan sesudah praktik bengkel, diperoleh nilai konsumsi energi masing-masing sebesar 0,90, 1,02, dan 0,94. Nilai tersebut menunjukkan adanya peningkatan konsumsi energi saat kegiatan praktik berlangsung dibandingkan dengan sebelum praktik, diikuti dengan penurunan setelah kegiatan selesai. Selisih antara konsumsi energi tertinggi dan terendah sebesar 0,12, yang mengindikasikan adanya peningkatan aktivitas metabolik tubuh selama proses praktik bengkel. Aktivitas fisik selama praktik menyebabkan kebutuhan oksigen meningkat untuk mendukung proses pembakaran energi dalam tubuh. Setelah praktik selesai, konsumsi energi kembali menurun mendekati kondisi awal. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, tren perubahan konsumsi oksigen dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



**Gambar 2.** Tren Perubahan Konsumsi Oksigen Mahasiswa

Dalam perspektif Manajemen Sumber Daya Manusia (MSDM), temuan penelitian ini menunjukkan perlunya evaluasi mendalam terhadap analisis beban kerja dan kapasitas individu untuk mencegah terjadinya kesalahan manusia (*human error*). Tingginya skor rata-rata NASA-TLX yang mencapai 64 mengindikasikan bahwa mahasiswa dalam lingkungan serupa menghadapi tekanan kognitif dan waktu yang signifikan, sehingga diperlukan strategi *job redesign* untuk menyeimbangkan antara tuntutan tugas dengan kemampuan mental responden. Selain aspek mental, MSDM juga harus memperhatikan beban fisik yang tercermin dari peningkatan konsumsi energi menjadi 1,02 kkal/menit saat praktik. Peningkatan aktivitas metabolik ini menunjukkan adanya tuntutan fisik yang besar, yang jika tidak dikelola melalui prinsip ergonomi dan pengaturan postur kerja yang baik, dapat menurunkan produktivitas serta meningkatkan risiko gangguan kesehatan jangka panjang.

**Tabel 4 Ringkasan Data Beban Kerja untuk Analisis MSDM**

| Indikator                    | Hasil Temuan                      | Implikasi MSDM                         |
|------------------------------|-----------------------------------|--|
| NASA-TLX (Subjektif)         | Skor 64 (Tinggi)                  | Perlu reduksi tekanan kognitif & waktu |
| Konsumsi Energi (Fisiologis) | 1,02 kkal/menit (Saat Praktik)    | Perlu evaluasi beban fisik & ergonomi  |
| Faktor Lingkungan            | Suhu tinggi, bising, cahaya minim | Perbaiki fasilitas fisik (K3)          |

Lebih lanjut, hasil penelitian ini memberikan landasan bagi instansi untuk memperkuat kebijakan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) melalui intervensi pada lingkungan fisik. Kondisi bengkel yang ditandai oleh suhu tinggi, kebisingan, dan pencahayaan yang kurang optimal merupakan faktor eksternal yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan beban kerja dan risiko kelelahan. Dengan memanfaatkan data fisiologis seperti denyut jantung sebagai indikator objektif, manajemen dapat merancang sistem manajemen waktu istirahat yang lebih efektif (Gonzalez et al., 2017). Pendekatan ini didukung oleh tinjauan literatur Gonzalez dkk. (2017) yang menegaskan bahwa variabilitas denyut jantung merupakan parameter objektif yang reliabel dalam mendeteksi kelelahan sebelum terjadi penurunan performa yang drastis (Gonzalez et al., 2017). Mengingat konsumsi energi kembali menurun ke angka 0,94 kkal/menit setelah aktivitas selesai, pengaturan jadwal jeda yang tepat sangat krusial untuk memastikan pemulihan energi yang optimal. Selain aspek fisik, intervensi ini juga penting untuk memitigasi beban kerja mental (Masniar & Siregar, 2022). Sebagaimana ditemukan oleh

Histiari dan Pangestu (2022), beban kerja yang tidak terkelola dengan baik pada bagian operator dapat memicu kelelahan kognitif yang berisiko pada keselamatan kerja. Dengan demikian, melalui pengaturan jadwal jeda yang tepat, vitalitas dan fokus individu dapat tetap terjaga selama proses pembelajaran atau kerja berlangsung.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan pentingnya menjaga keseimbangan antara tuntutan pekerjaan (*job demands*) dengan kapasitas fisik dan mental individu untuk menjamin produktivitas serta keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat beban kerja mahasiswa praktik permesinan tergolong *tinggi* dengan skor rata-rata NASA-TLX sebesar 64. Nilai ini mencerminkan besarnya tuntutan kognitif dan tekanan waktu yang berkontribusi signifikan terhadap beban kerja mental mahasiswa. Dari perspektif MSDM, kondisi tersebut memerlukan intervensi berupa evaluasi sistem pembelajaran guna mencegah risiko *human error* dan kecelakaan kerja akibat kelelahan kronis.

Secara fisiologis, peningkatan aktivitas metabolik yang nyata terbukti melalui pengukuran denyut jantung dan konsumsi oksigen. Tercatat nilai konsumsi energi mencapai puncaknya sebesar 1,02 kkal/menit saat praktik berlangsung, meningkat dibandingkan kondisi sebelum (0,90 kkal/menit) dan sesudah praktik (0,94 kkal/menit). Peningkatan ini membuktikan adanya beban metabolik tubuh yang harus dimitigasi, salah satunya melalui pengaturan waktu istirahat yang berbasis pada data objektif.

Konsistensi antara persepsi subjektif NASA-TLX dan data fisiologis memperkuat bukti bahwa beban kerja praktikan sangat tinggi. Dengan mengintegrasikan kedua metode ini, instansi dapat merancang strategi perbaikan kondisi kerja yang lebih ergonomis untuk menjaga vitalitas, kesehatan, serta keselamatan individu di lingkungan manufaktur maupun pendidikan vokasional.

#### Pustaka

- Agustina, R., & Prasetyo, H. (2023). Pengukuran konsumsi energi metabolik untuk menentukan waktu istirahat optimal pekerja pemanen tebu. *Jurnal Ergonomi dan K3*, 8(2), 74–81.
- Alfani, M. (2023). Analisis beban kerja mental pada kepala pasar x dengan metode nasa-tlx. *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Bisnis*, 24(1), 89–97.
- Alfindo, R., & Setiawan, B. (2022). Penerapan metode nasa-tlx untuk mengukur beban kerja mental operator mesin bubut. *Jurnal Teknik Industri JTI*, 13(1), 12–20.
- Alius, A., & Ramadhan, F. (2025). Hubungan linear denyut jantung dan konsumsi oksigen dalam evaluasi ergonomi pekerja konstruksi. *Jurnal Infrastruktur dan Vokasi*, 4(1), 15–23.
- Azzahra, F., & Wijaya, K. (2025). Analisis beban kerja mental menggunakan metode nasa-tlx pada divisi operation pt z. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 9(3), 312–320.
- Dewi, S. K., & Prabaswari, A. D. (2024). Pengukur beban kerja mental operator stasiun kerja manual menggunakan metode nasa-tlx. *Jurnal Ergonomi Indonesia (Journal of Indonesian Ergonomics)*, 10(1), 45–52.
- Fathimahhayati, L. D., Pawitra, T. A., & Purnomo, T. B. (2023). Optimalisasi waktu istirahat berdasarkan tingkat beban kerja fisiologis (studi kasus: Cv eja nurseery, kutai kartanegara). *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 7(2), 112–119. doi: 10.35194/jmtsi.v7i2.3245
- Gonzalez, A., et al. (2017). Heart rate variability as an objective measure of mental fatigue in manufacturing operators. *Journal of Safety Research*, 62, 145–153.
- Masniar, M., & Siregar, I. (2022). Analisis tingkat kelelahan kerja berdasarkan pengukuran objektif dan subjektif pada pekerja pabrik kelapa sawit. *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 6(1), 55–63.
- Mohammadian, M., & Choobineh, A. (2022). Subjective mental workload assessment using nasa-tlx: A systematic review in industrial contexts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 89, 103–112.
- Primasari, A., & Herlina, L. (2024). Evaluasi beban kerja mental pada dosen menggunakan metode nasa-tlx di universitas x. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 8(1), 33–41.
- Saddam, M., & Rahman, A. (2022). Analisis beban kerja mental dengan metode nasa-tlx pada karyawan divisi administrasi. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 15(2), 120–128.
- Satava, O., & Zeki, M. (2025). Analisis beban kerja fisik pada operator stasiun perebusan menggunakan metode fisiologi. *Jurnal Industri Samudra*, 6(1), 26–31. doi: 10.55377/jis.v6i1.11391

Tri Sanjaya, K., Kalista, A., Rizal, M. A., Fadillah, A., & Suherman, A. (2022). Analisis postur kerja dan pengukuran konsumsi energi pekerja pengangkat batu untuk mengurangi musculoskeletal disorders. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Universitas Kadiri (JATI UNIK)*, 5(2), 112–117. doi: 10.30737/jatiunik.v5i2.2392