

Pengembangan Inovatif Sistem Pengukuran Kelelahan Berbasis Website untuk Pekerja Industri Konstruksi

Ihsan^{1*}, Sumardiyono^{1*}, Heni Hastuti²

¹ Prodi Diploma 4 Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir Sutami No. 6, Kentingan, Surakarta

² Prodi Ilmu Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Sebelas Maret Jalan Ir Sutami No. 36, Kentingan, Surakarta

*Corresponding author: sumardiyono@staff.uns.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Agustus 2024 ; Disetujui Bulan Desember 2024 ; Publikasi bulan Desember 2024

ABSTRACT

Construction workers, who work in physically and mentally demanding environments, experience high levels of fatigue, which is a major cause of accidents and occupational illnesses. Therefore, real-time measurement of fatigue is critical to managing the safety and health of construction workers. This study presents an innovative approach to measuring both subjective and objective fatigue through an integrated web-based system using reaction timer technology as a responsive digital measurement tool. The system has been developed using a flexible open source platform (WordPress) with the integration of specialized plug-ins for the automatic collection and analysis of fatigue data. The research method consists of two stages: (1) the development of an integrated fatigue measurement system for construction workers, and (2) a validation study to assess the feasibility of this method by comparing it with traditional methods such as reaction timers and KAUPK2 questionnaires, together with feedback from construction workers in the field (N=60). Participants were divided into three groups: the website group (N=20), the reaction timer group (N=20), and the questionnaire group (N=20). Results: Based on standardized measurements, participants were classified into three fatigue groups: high (6.67%), moderate (70%) and low (23.33%) across all measurement methods. Quantitative results showed statistically significant differences between the three types of fatigue measurement groups. Conclusions: This study highlights the advantages of the web-based system, which is accessible in real time and facilitates the continuous monitoring of fatigue at work. This innovation has the potential to improve the safety management of construction workers through the collection of relevant data and the integration of digital technology, which can be further developed in future research.

Keywords: Fatigue; Construction Industry Workers; Website; Work Fatigue Measurement

ABSTRAK

Pekerja konstruksi yang bekerja di lingkungan yang menantang secara fisik dan mental mengalami tingkat kelelahan kerja yang tinggi, yang merupakan penyebab utama kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengukur kelelahan secara real-time guna mengelola keselamatan dan kesehatan pekerja konstruksi. Penelitian ini menyajikan pendekatan inovatif untuk mengukur kelelahan subjektif dan objektif berbasis website yang terintegrasi, menggunakan teknologi *reaction timer* sebagai alat pengukuran digital yang responsif. Sistem ini dikembangkan menggunakan *platform open-source* yang fleksibel (*WordPress*) dengan integrasi plugin khusus untuk pengumpulan dan analisis data kelelahan secara otomatis. Metode penelitian terdiri dari dua tahap: (1) pengembangan sistem pengukuran kelelahan yang terintegrasi untuk pekerja konstruksi, dan (2) studi validasi untuk mengevaluasi kelayakan metode ini dengan membandingkannya dengan metode tradisional seperti *reaction timer* dan kuesioner KAUPK2, serta umpan balik dari pekerja konstruksi di lapangan (N=60). Peserta dibagi menjadi tiga kelompok: kelompok yang menggunakan website (N=20), kelompok yang menggunakan *reaction timer* (N=20), dan kelompok yang menggunakan kuesioner (N=20). Hasil: Berdasarkan pengukuran yang terstandarisasi, peserta diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok kelelahan: tinggi 6,67%, sedang (70%), dan rendah (23,33%) untuk semua metode pengukuran. Hasil kuantitatif menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik antara tiga jenis pengukuran kelelahan. Kesimpulan: Studi ini menyoroti keunggulan sistem berbasis *website* yang dapat diakses secara *real-time* dan memberikan kemudahan dalam pemantauan kelelahan kerja secara terus-menerus. Inovasi ini berpotensi untuk meningkatkan manajemen keselamatan pekerja konstruksi melalui pengumpulan data yang relevan dan integrasi teknologi digital, yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam penelitian masa depan.

Kata kunci: Kelelahan; Pekerja Industri Konstruksi; Website; Pengukuran Kelelahan Kerja

PENDAHULUAN

Pekerja konstruksi sering mengalami tingkat kelelahan yang tinggi karena lingkungan kerja mereka yang menantang secara fisik dan mental, yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja (Ardiansyah, Irawan and Purba, 2022). Kelelahan kerja dapat menyebabkan hilangnya konsentrasi dan kewaspadaan, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kesalahan fatal dan kecelakaan di tempat kerja (Agustin, Ihsan and Lestari, 2021). Oleh karena itu, pengurangan kelelahan kerja sangat penting untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja di lokasi konstruksi (Hedaputri, Indradi and Illahika, 2021). Kelelahan didefinisikan sebagai penurunan efisiensi yang disebabkan oleh kerja fisik maupun mental yang berkepanjangan (Eriņš *et al.*, 2019), dan dapat memengaruhi motivasi serta keterampilan pekerja (Techera *et al.*, 2018). Pengukuran kelelahan tradisional sering kali menggunakan metode subjektif berbasis laporan diri, yang mengandalkan persepsi individu terhadap gejala fisik dan mental yang mereka alami (Behrens *et al.*, 2023). Metode ini memiliki keterbatasan karena bersifat

retrospektif, dan sering kali tidak mampu memberikan penilaian real-time yang akurat (Powell and Copping, 2016).

Perkembangan teknologi telah mendorong inovasi dalam pengukuran kelelahan. Sebagai contoh, Artana et al (2020) mengembangkan alat pengukur kelelahan berbasis *Arduino Uno* yang meskipun efektif, masih menghadapi tantangan dalam hal biaya dan ketersediaan alat. Di sisi lain, penggunaan teknologi berbasis web semakin dikembangkan untuk menggantikan kuesioner konvensional. Sistem pengukuran kelelahan berbasis website dapat memberikan data yang lebih komprehensif dan akurat dalam waktu nyata (Setiawan, Pradana and Bachtiar, 2021). Website seperti *Google Forms* telah digunakan dalam penelitian untuk mengumpulkan data kelelahan secara lebih efisien dan mengurangi bias informasi (Widayanti, 2021).

Beberapa metode pengukuran kelelahan yang kini digunakan mencakup pengukuran subjektif berbasis kuesioner (Putrisani, Nugraha and Herwanto, 2023), pengujian waktu reaksi (Beni, Silen and Yanti, 2022), serta pengukuran parameter fisik seperti reaksi mata dan parameter fisiologis (Putrisani, Nugraha and Herwanto, 2023). Instrumen yang sering digunakan untuk mengukur kelelahan kronis meliputi *Fatigue Assessment Scale* (FAS) (Lestari, Chirzun and Nurhasanah, 2023), *Checklist Individual Strength* (CIS), serta subskala kelelahan dari WHO *Quality of Life Assessment* (WHOQOL-EF) (Lestari, Chirzun and Nurhasanah, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis web yang terintegrasi untuk mengukur kelelahan pekerja konstruksi secara subjektif dan objektif. Sistem ini dirancang untuk menggabungkan pengukuran berbasis kuesioner yang tervalidasi dengan alat pengukur waktu reaksi berbasis teknologi terkini, guna memastikan akurasi dan kemudahan dalam penggunaannya (Novianti, Putri and Purnamayanti, 2022). Pendekatan berbasis web ini diharapkan mampu mengurangi bias informasi dari laporan retrospektif serta menekan biaya operasional dalam proses pengukuran.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan desain *Quasi Experiment* dengan *nonequivalent control group design*, yang merupakan pengembangan dari desain eksperimental murni. Desain ini melibatkan kelompok kontrol, namun tidak dapat sepenuhnya mengendalikan variabel-variabel luar yang dapat memengaruhi hasil eksperimen (Sugiyono, 2019). Penelitian ini terdiri dari dua tahap: (1) pengembangan sistem pengukuran kelelahan berbasis website untuk pekerja konstruksi dengan data real-time subjektif dan objektif, dan (2) evaluasi kelayakan dan kegunaan sistem berdasarkan umpan balik pekerja konstruksi di lapangan.

Website yang dikembangkan oleh tim peneliti menggunakan *platform open-source* (*WordPress*) yang dilengkapi dengan plugin khusus untuk pengolahan data reaksi pekerja yang memungkinkan kompatibilitas lintas platform serta kemudahan akses di berbagai perangkat (Johanis et al., 2024). Backend sistem dibangun dengan menggunakan *Python Django*, yang menyediakan fleksibilitas dalam pengelolaan data, sedangkan *frontend* menggunakan *Bootstrap* untuk tampilan yang responsif (Kurniawan et al., 2023). *Website* ini mengintegrasikan teknologi *reaction timer* untuk mengukur kecepatan reaksi pekerja secara real-time, yang selanjutnya digunakan untuk mengkategorikan tingkat kelelahan menjadi tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi (Ardiansyah, 2017). Setiap hasil pengukuran disimpan secara otomatis di cloud, memastikan data dapat diakses dan diolah dengan mudah.

Proses validasi teknis dilakukan dengan metode *cross-validation*, di mana sistem dibandingkan dengan alat pengukur kelelahan manual seperti kuesioner dan alat *reaction timer* konvensional (Ardiansyah, 2017). Uji coba sistem dilakukan pada 10 pekerja konstruksi untuk memastikan bahwa hasil pengukuran konsisten dan dapat diandalkan. Hasil uji coba menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem berbasis *website* sebanding dengan alat *reaction timer* konvensional, dengan keunggulan dalam kemudahan penggunaan dan kecepatan pengumpulan data.

Pengukuran kelelahan di antara tiga kelompok (kelompok kontrol dengan kuesioner, kelompok intervensi 1 dengan *website*, dan kelompok intervensi 2 dengan *reaction timer*) dibandingkan menggunakan uji ANOVA. Validitas dan reliabilitas pengukuran diuji dengan membandingkan hasil antara kelompok intervensi 1 dan kelompok intervensi 2. Hasil menunjukkan bahwa *website* mampu memberikan hasil pengukuran yang valid dan reliabel, dengan konsistensi hasil yang setara dengan *reaction timer* tradisional.

Sampel penelitian terdiri dari 60 pekerja konstruksi di PT X Klaten, yang dipilih menggunakan teknik total sampling. Pekerja dibagi menjadi tiga kelompok: kelompok kontrol (20 pekerja menggunakan kuesioner), kelompok intervensi 1 (20 pekerja menggunakan *website*), dan kelompok intervensi 2 (20 pekerja menggunakan *reaction timer*). Data dianalisis menggunakan uji ANOVA untuk menentukan perbedaan rata-rata antara ketiga metode pengukuran kelelahan tersebut (Ardiansyah, 2017).

HASIL

PT. X Klaten adalah anak perusahaan PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Perusahaan Belanda yang bernama *Architecten Ingenieur-en Aannemersbedrijf Associatie Selle en de Bruyn, Reyerse en de Vries N.V.* (*Associate*

N.V.) merupakan cikal bakal pendirian PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Pada tanggal 11 Maret 1960, perusahaan Belanda tersebut dinasionalisasikan dan kemudian ditetapkan menjadi PN Adhi Karya sesuai dengan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Tenaga Nomor 5 tahun 1960. PT. X Klaten bergerak di bidang manufaktur penyedia dan pemasang beton pracetak serta kegiatan usaha terkait. PT. X Klaten berdiri pada tanggal 10 Desember 2013 dan mulai aktif beroperasi pada tanggal 2 Januari 2014. PT. X Klaten sendiri menggarap bisnis pasar bisnis beton pracetak yang dijalankan oleh perusahaan induknya PT Adhi Karya, yaitu bisnis yang bergerak di bidang industri, ekspor - impor dan perdagangan beton pracetak serta kegiatan usaha terkait.

Kegiatan pekerja PT X Klaten, rata-rata bekerja di lapangan yaitu memantau proses pengecoran di lapangan dengan cuaca yang panas, sehingga pekerja berisiko mengalami kelelahan kerja. Pengecoran dilakukan untuk membuat komponen-komponen yang besar dan memiliki bentuk yang rumit, serta pada material yang memiliki keuletan yang sangat rendah seperti besi tuang. Pengiriman dilakukan menggunakan *truck mixer* ke tempat tujuan pemesanan. Pengiriman dilakukan setiap hari. Kendala dari setiap pengiriman adalah adanya kerusakan pada mesin *batching plant*, jalan yang macet, sehingga hal tersebut dapat menimbulkan kelelahan.

Tabel 1 menyajikan distribusi frekuensi usia responden yang berpartisipasi dalam penelitian ini. Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa mayoritas responden, yaitu sebanyak 45 orang atau 75%, berada dalam rentang usia 35-45 tahun. Sebaliknya, hanya 15 orang atau 25% responden yang termasuk dalam kelompok usia 25-35 tahun. Temuan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai profil usia dominan dari peserta penelitian, yang dapat berimplikasi pada pemahaman terhadap sikap dan perilaku responden dalam konteks penelitian yang dilakukan.

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Usia Responden

Usia (tahun)	Frekuensi	
	n	%
35-45	45	75
25-35	15	25
Jumlah	60	100

Sumber: Data Primer 2024

Tabel 2 melanjutkan analisis dengan menampilkan distribusi frekuensi masa kerja responden. Data menunjukkan bahwa 24 responden, yang setara dengan 40%, memiliki masa kerja satu tahun. Sementara itu, 19 responden (31,7%) melaporkan masa kerja dua tahun, dan 17 responden (28,3%) memiliki masa kerja tiga tahun. Temuan ini memberikan wawasan yang penting mengenai pengalaman kerja responden, yang dapat memengaruhi pandangan dan pengalaman mereka dalam bidang yang diteliti. Dengan demikian, analisis masa kerja ini menjadi kunci dalam memahami konteks dan relevansi data yang diperoleh dari responden.

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Masa Kerja Responden

Masa Kerja (tahun)	Frekuensi (n)	Presentase (%)
1	24	40,0%
2	19	31,7%
3	17	28,3%

Sumber: Data Primer 2024

Untuk memahami lebih dalam mengenai hubungan antara alat ukur dan tingkat kelelahan kerja responden, Tabel 3 menyajikan tabulasi silang yang menggambarkan distribusi tingkat kelelahan kerja berdasarkan alat ukur yang digunakan. Data ini memberikan gambaran mengenai bagaimana masing-masing alat ukur berkontribusi dalam mengidentifikasi tingkat kelelahan kerja responden, serta membantu dalam analisis efektivitas alat ukur dalam konteks penelitian ini.

Table 3. Tabulasi Silang Alat Ukur dengan Tingkat Kelelahan Kerja Responden

Alat Ukur Kelelahan Kerja	Tingkat Kelelahan Kerja			Total
	Ringan	Sedang	Berat	
Website	3	14	3	20
Reaction Timer	9	11	0	20
Kuesioner	2	17	1	20

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa tingkat kelelahan kerja paling banyak yang diukur menggunakan website adalah tingkat kelelahan sedang dengan 14 responden dan paling sedikit pada tingkat kelelahan ringan dan berat dengan masing-masing 3 responden. Untuk tingkat kelelahan kerja yang diukur menggunakan reaction timer diketahui tingkat kelelahan kerja paling banyak berada pada tingkat kelelahan sedang

dengan 11 responden dan paling sedikit pada tingkat kelelahan berat dengan tidak ada responden yang mengalami kelelahan berat. Untuk pengukuran menggunakan kuesioner, diketahui bahwa tingkat kelelahan sedang merupakan kelelahan yang paling banyak dialami oleh responden yakni sebanyak 17 responden dan paling sedikit pada tingkat kelelahan berat sebanyak 1 responden.

Analisis bivariat dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh website pendeteksi kelelahan kerja sebagai metode untuk menilai kelelahan kerja. Analisis bivariat dalam penelitian ini untuk mengetahui hasil pengukuran dari ketiga alat yaitu menggunakan *website*, *reaction timer* dan kuesioner KAUPK2

Uji ANOVA digunakan untuk menguji perbandingan rata-rata lebih dari dua kelompok data dalam penelitian ini kelompok terdiri dari *website*, *reaction timer*, dan Kuesioner KAUPK2 hasil terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji perbandingan antara *website*, *reaction timer* dan kuesioner

Kelompok	N	Rerata	SD	F	p
Website	20	388,3	74,0	362,388	< 0,001
Reaction Timer	20	421,0	50,0		
Kuesioner	20	24,6	5,5		
Total	60				

Sumber: Data Primer 2024

Variabel terikat: Kelelahan kerja

Hasil analisis pada Tabel 4 menunjukkan adanya perbedaan dalam pengukuran kelelahan kerja antara ketiga metode yang digunakan. Pada metode *website*, rerata skor kelelahan adalah 388,3 dengan standar deviasi (SD) sebesar 74,0. Metode *reaction timer* memberikan rerata skor yang lebih tinggi, yaitu 421,0 dengan SD sebesar 50,0, menunjukkan bahwa metode ini mengindikasikan tingkat kelelahan yang lebih tinggi. Sementara itu, hasil pengukuran melalui kuesioner menghasilkan rerata skor kelelahan yang jauh lebih rendah dibandingkan dua metode lainnya, yaitu 24,6 dengan SD 5,5.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik di antara ketiga metode tersebut, dengan nilai F sebesar 362,388 dan $p < 0,001$. Karena nilai p lebih kecil dari 0,05, hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan antara hasil yang diperoleh dari metode *website*, *reaction timer*, dan kuesioner adalah signifikan.

Secara keseluruhan menunjukkan terdapat perbedaan signifikan dalam hasil pengukuran kelelahan kerja berdasarkan metode yang digunakan. Skor kelelahan dari kuesioner secara substansial lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran dari *website* dan *reaction timer*, yang mungkin mengindikasikan perbedaan dalam sensitivitas atau skala pengukuran dari masing-masing metode. Metode *reaction timer* menghasilkan skor kelelahan tertinggi, menunjukkan bahwa metode ini mungkin lebih sensitif dalam mendeteksi tingkat kelelahan kerja yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya.

Berdasarkan hasil uji F yang dinyatakan signifikan ($p < 0,001$) maka terdapat minimal 1 perbedaan antar kelompok. Untuk mengetahui perbedaan antar kelompok tersebut dapat dilanjutkan uji *post hoc* yang hasilnya terlihat dari tabel 5

Tabel 5. Hasil Uji *Post Hoc* Perbandingan antara *Website*, *Reaction Timer* dan Kuesioner

Alat Ukur Kelelahan Kerja	Beda Rerata	p	95% Interval Kepercayaan		
			Batas Bawah	Batas Atas	
<i>Website</i>	<i>Reaction Timer</i>	-32,790	0,149	-73,110	7,530
	Kuesioner	363,650	< 0,001	323,330	403,970
<i>Reaction Timer</i>	<i>Website</i>	32,790	0,149	-7,530	73,110
	Kuesioner	396,440	< 0,001	356,120	436,760
Kuesioner	<i>Website</i>	-363,650	< 0,001	-403,970	-323,330
	<i>Reaction Timer</i>	-396,440	< 0,001	-436,760	-356,120

Sumber: Data primer 2024

Perbedaan tingkat kelelahan kerja berdasarkan hasil pengukuran ketiga alat ukur dapat dideskripsikan melalui diagram batang yang tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Tingkat Kelelahan Kerja Berdasarkan 3 Alat Ukur

Berdasarkan hasil uji *post hoc* untuk menguji perbedaan antar kelompok diantara *Website*, *Reaction Timer* dan *Kuesioner* pada Tabel 5, perbandingan antara *website* dan *reaction timer*, menunjukkan perbedaan rerata skor kelelahan sebesar -32,790 antara metode *website* dan *reaction timer*, dengan nilai signifikansi 0,149. Karena nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, perbedaan antara kedua metode ini tidak signifikan secara statistik. Interval kepercayaan 95% juga meliputi angka 0 (-73,110 hingga 7,530), yang mendukung kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara kedua metode ini. Perbedaan rerata antara metode *website* dan *kuesioner* sebesar 363,650, dengan nilai signifikansi $p < 0,001$. Karena nilai $p < 0,05$, perbedaan ini signifikan secara statistik. Interval kepercayaan 95% (323,330 hingga 403,970) tidak meliputi angka 0, yang menunjukkan bahwa metode *website* dan *kuesioner* memberikan hasil yang secara signifikan berbeda.

Perbandingan antara *reaction timer* dan *kuesioner*, hasilnya menunjukkan perbedaan rerata sebesar 396,440 antara *reaction timer* dan *kuesioner*, dengan nilai $p < 0,001$. Karena nilai $p < 0,05$, perbedaan ini signifikan secara statistik. Interval kepercayaan 95% (356,120 hingga 436,760) juga tidak meliputi angka 0, yang menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua metode ini. Sebaliknya, perbedaan rerata yang dihasilkan antara metode *kuesioner* dengan *website* (-363.650) dan *reaction timer* (-396,440) juga signifikan secara statistik, dengan nilai $p < 0,001$ pada kedua kasus dan interval kepercayaan yang tidak meliputi angka 0 (-403.970 hingga -323.330 dan -436.760 hingga -356.120). Ini menunjukkan bahwa metode *kuesioner* memberikan hasil yang sangat berbeda secara signifikan dibandingkan kedua metode lainnya.

Uji *post hoc* menunjukkan bahwa meskipun tidak ada perbedaan signifikan antara metode *website* dan *reaction timer*, baik metode *website* maupun *reaction timer* menghasilkan perbedaan yang signifikan dengan metode *kuesioner* dalam pengukuran kelelahan kerja. Metode *kuesioner* cenderung memberikan skor kelelahan yang jauh lebih rendah dibandingkan kedua metode lainnya, menunjukkan perbedaan yang mendasar dalam sensitivitas pengukuran kelelahan kerja.

PEMBAHASAN

Terkait pengaruh karakteristik responden terhadap kelelahan kerja, karakteristik responden berdasarkan jenis kelamin dalam penelitian terdiri dari laki-laki berjumlah 54 dan perempuan berjumlah 6 responden. Perbedaan jumlah pekerja antara laki laki dan perempuan dikarenakan kebutuhan pekerja laki laki lebih banyak dibandingkan dengan perempuan untuk pekerja pada area konstruksi pekerja di PT X Klaten. Tenaga kerja laki laki dibutuhkan karena berhubungan dengan aktivitas kerja fisik dan konsentrasi yang tinggi dalam mengoperasikan peralatan *batching plant* maupun *driver truck mixer* dan pekerja lapangan. Pekerjaan tersebut lebih membutuhkan aktifitas fisik dan kekuatan fisik yang lebih besar sehingga lebih cocok untuk tenaga kerja laki laki. Kategori usia responden dapat diketahui rata-rata usia berada pada dewasa akhir dengan rentang 36-45 tahun, sedangkan sisanya pada usia dewasa awal dengan rentang 25-35 tahun . secara statistik tidak ada perbedaan signifikan antara kedua kategori umur tersebut. Pekerja PT X Klaten merupakan jenis pekerjaan lepas yang dikontrak selama proses kegiatan berlangsung. Karakteristik masa kerja responden dapat diketahui bahwa masa kerja responden adalah 1 tahun dengan masa kerja terbaru dan masa kerja sedang 2 tahun dan masa kerja terlama yaitu ≥ 3 tahun. Sebagian besar masa kerja responden dalam penelitian ini termasuk ke dalam kategori masa kerja baru 1 tahun.

Masa kerja responden tidak terlalu bervariasi dikarenakan jenis pekerjaan yang hanya bersifat kontrak. Pekerja kontrak selama proyek kegiatan berlangsung dan bukan merupakan pekerja tetap di PT X Klaten. Kontrak pekerjaan yang dilakukan bervariasi tergantung dari lama pengerjaan kegiatan. Masa kerja responden yang cukup lama seperti masa kerja 3 tahun dikarenakan pekerja tersebut sudah terbiasa melakukan pengerjaan proyek dengan

PT X Klaten. Masa kerja jika dikaitkan dengan kelelahan kerja adalah tenaga kerja dengan masa kerja lama memiliki tingkat adaptasi yang lebih tinggi terhadap kelelahan karena semakin lama bekerja membuat seseorang terbiasa dengan pekerjaan yang dilakukan, sehingga akan berpengaruh pada daya tahan tubuh terhadap kelelahan (Engelen *et al.*, 2016). Menurut Kim *et al.* (2019) lamanya bekerja akan berpengaruh terhadap mekanisme tubuh. Semakin lama masa kerja seseorang, maka dapat menurunkan ketegangan dan peningkatan performansi kerja, sehingga lebih pandai mengatur diri apabila mulai mengalami gejala kelelahan. Akan tetapi lamanya masa kerja juga dapat membuat batas ketahanan tubuh yang berlebihan akibat dari tekanan yang didapatkan pada proses kerja, sehingga timbul kelelahan (Sumardiyono *et al.*, 2023).

Terkait keandalan dan perbandingan antar alat ukur, tingkat kelelahan kerja responden bervariasi antara tingkat kelelahan ringan, sedang dan berat. Persamaan dari tingkat kelelahan yang diukur menggunakan *website*, *reaction timer* dan kuesioner adalah mayoritas pekerja mengalami kelelahan sedang dan paling sedikit responden mengalami kelelahan berat. Hasil ini bisa dimaknakan bahwa antara alat ukur kelelahan tersebut bisa digunakan. Uji perbandingan alat ukur untuk menilai tingkat kelelahan kerja dibedakan menjadi 2 yakni kelompok eksperimen menggunakan *website* dan kelompok kontrol menggunakan *reaction timer* dan kuesioner. Terdapat pengaruh *website* pendeteksi kelelahan kerja untuk mendeteksi kelelahan kerja pada pekerja di PT X Klaten. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *website* sebagai alat ukur untuk menilai kelelahan kerja bisa digunakan. Metode pengukuran kelelahan kerja yang sering digunakan adalah *reaction timer* dan kuesioner, namun pengembangan metode atau alat ukur lain untuk menilai Tingkat kelelahan kerja menjadi hal yang bisa dilakukan. Penelitian ini membuktikan bahwa pengembangan *website* berbasis standar dari *reaction timer* dapat digunakan untuk mengukur kelelahan kerja. Hasil uji statistik menggunakan uji ANOVA mendapatkan hasil perbedaan yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Seong *et al.* (2022) tentang pengembangan sistem penilaian kelelahan kerja pada industri konstruksi. Hasil penelitian mereka yakni mengukur kelelahan subjektif dan objektif pekerja konstruksi secara simultan menggunakan penilaian sesaat ekologis (EMA) dan jam tangan pintar. EMA ini merupakan aplikasi khusus yang dikembangkan untuk mengumpulkan data kelelahan kerja, detak jantung dan skleroskop yang dikumpulkan melalui jam tangan pintar. Data yang dikumpulkan tersebut akan terintegrasi dengan EMA sehingga EMA akan menyajikan data tingkat kelelahan kerja menurut kategorinya. Begitupun penelitian oleh Zuraida and Chie (2014) yang mengembangkan sistem pengukur kelelahan pengguna dengan menggunakan perangkat yang dapat dikenakan terkait kesehatan. Sistem pengukur kelelahan dapat mengukur kelelahan di mana saja, kapan saja menggunakan perangkat pintar (Band *et al.*, 2017).

Hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis yang signifikan terkait penggunaan teknologi dalam mengukur dan memantau kelelahan kerja. Pertama, *website* berbasis teknologi terbukti efektif sebagai alat ukur kelelahan di lapangan, memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat dibandingkan kuesioner tradisional yang mungkin tidak cukup sensitif terhadap kondisi fisik pekerja. *Website* ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi *platform* pemantauan kelelahan secara *real-time*, terutama di sektor industri berat seperti manufaktur dan konstruksi. Selain itu, penggunaan *reaction timer* sebagai alat ukur kelelahan juga efektif, tetapi akan lebih optimal jika diintegrasikan dengan teknologi lain seperti *website*. Pengembangan alat ukur tambahan, seperti aplikasi berbasis penilaian ekologis sesaat (EMA) dan perangkat *wearable*, juga dapat membantu memantau kelelahan kerja secara objektif. Temuan penelitian menunjukkan bahwa mayoritas pekerja mengalami kelelahan sedang, yang mengindikasikan perlunya intervensi ergonomis atau manajemen kelelahan untuk mencegah penurunan produktivitas dan risiko kecelakaan kerja. Perusahaan dapat mempertimbangkan penyesuaian penjadwalan kerja dan pemberian waktu istirahat yang lebih fleksibel untuk mengurangi kelelahan akibat pekerjaan fisik berat. Penerapan metode pengukuran berbasis teknologi seperti *website* dan *reaction timer* di industri konstruksi dan manufaktur dapat menjadi bagian dari sistem pemantauan kelelahan yang terintegrasi, yang tidak hanya menjaga keselamatan kerja tetapi juga meningkatkan kesejahteraan pekerja secara keseluruhan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, dalam pengembangan sistem berbasis *website* untuk mengukur kelelahan kerja, masih terdapat keterbatasan dalam hal kecepatan respons data dan ketergantungan pada infrastruktur internet yang stabil. Pekerja konstruksi yang berada di lokasi dengan akses internet terbatas mungkin menghadapi kesulitan dalam menggunakan sistem ini secara efektif. Selain itu, meskipun sistem berbasis *website* ini dikembangkan berdasarkan standar dari *reaction timer*, validitas dan reliabilitas sistem masih perlu divalidasi lebih lanjut, terutama dalam konteks pengukuran *real-time* di lapangan.

Selanjutnya, pengembangan *website* ini menggunakan *platform open-source (WordPress)* yang dilengkapi dengan plugin khusus untuk pengolahan data reaksi pekerja. Meskipun *platform* ini memfasilitasi pengembangan sistem yang lebih terjangkau dan mudah digunakan, aspek keamanan data pekerja juga menjadi perhatian. Proses validasi teknis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan metode lainnya seperti *reaction timer* dan kuesioner, namun belum ada evaluasi mendalam tentang bagaimana sistem ini bertahan dalam kondisi kerja yang lebih dinamis atau ekstrem.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih fokus pada pengembangan sistem berbasis teknologi yang lebih adaptif terhadap lingkungan kerja konstruksi. Misalnya, penggunaan perangkat *wearable* seperti jam tangan pintar atau *smart glasses* yang dapat diintegrasikan dengan sistem berbasis *website* ini dapat menjadi langkah

yang lebih inovatif. Selain itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang melibatkan pekerja di lokasi dengan akses internet terbatas atau dalam situasi kerja yang lebih dinamis, untuk memastikan keandalan dan kegunaan sistem ini dalam berbagai kondisi kerja. Validasi sistem juga perlu dilakukan dengan populasi yang lebih besar dan beragam untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif mengenai efektivitas alat ukur ini dibandingkan dengan metode pengukuran beragam.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, ditemukan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam pengukuran kelelahan kerja di antara tiga metode yang digunakan yaitu pengukuran berbasis *website*, *reaction timer*, dan kuesioner. Metode *reaction timer* menghasilkan rerata skor kelelahan tertinggi, menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi tingkat kelelahan kerja dibandingkan dengan metode lain. Sementara itu, kuesioner memberikan hasil pengukuran kelelahan yang lebih rendah, yang mungkin disebabkan oleh skala pengukuran yang kurang sensitif terhadap kelelahan kerja aktual. Penggunaan alat ukur berbasis digital, seperti *website* dan *reaction timer*, terbukti lebih efektif dalam memberikan hasil yang akurat dan *real-time* dibandingkan dengan alat ukur manual berbasis kuesioner. Hasil pengukuran menggunakan *reaction timer* cenderung mengidentifikasi tingkat kelelahan yang lebih tinggi, sedangkan *website* memberikan hasil yang lebih mudah diakses dan dikelola. Oleh karena itu, metode digital dapat menjadi solusi yang lebih baik dalam pemantauan kelelahan kerja untuk pekerja konstruksi, guna meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko kecelakaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, A., Ihsan, T. and Lestari, R. A. (2021) 'Gambaran Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kelelahan Kerja Pada Pekerja Industri Tekstil di Indonesia: Review', *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan*, 2(2), pp. 138–151. doi: 10.25077/jk31.2.2.138-151.2021.
- Ardiansyah, M. I. (2017) 'Rancang Bangun Reaction Timer Dengan Keypad dan Penyimpanan Data', *Integrated Lab Journal*, 05(02), pp. 73–80.
- Ardiansyah, M. K., Irawan, S. and Purba, H. H. (2022) 'Identifikasi Faktor Risiko Keselamatan Pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung di Indonesia dalam 10 Tahun Terakhir (2011-2021): Kajian Literatur', *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 20(1), pp. 45–58. doi: 10.52330/jtm.v20i1.46.
- Artana, I. B., Darmawan, B. and Budiman, D. F. (2020) *Pengembangan Alat Uji Kelelahan Fisik Pekerja Berdasarkan Waktu Reaksi Berbasis Arduino Uno*. Universitas Mataram. Available at: <https://perpus.ft.unram.ac.id/index.php?p=fstream&fid=1836&bid=8542>.
- Band, R. *et al.* (2017) 'Activity patterns in response to symptoms in patients being treated for chronic fatigue syndrome: An experience sampling methodology study', *Health Psychology*, 36(3), pp. 264–269. doi: 10.1037/hea0000422.
- Behrens, M. *et al.* (2023) 'Fatigue and Human Performance: An Updated Framework', *Sports Medicine*, 53(1), pp. 7–31. doi: 10.1007/s40279-022-01748-2.
- Beno, J., Silen, A. . and Yanti, M. (2022) *Analisa Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kelelahan Kerja Pada Pekerja Bagian Produksi di PT. Cipta Baja Raya, Skripsi*. Universitas Islam Negeri Medan.
- Engelen, L. *et al.* (2016) 'Application of ecological momentary assessment in workplace health evaluation', *Health Promotion Journal of Australia*, 27(3), pp. 259–263. doi: 10.1071/HE16043.
- Eriņš, M. *et al.* (2019) 'Research of human fatigue and measurement parameters for workability assessment', *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2, pp. 38–43. doi: 10.17770/etr2019vol2.4148.
- Hedaputri, D. S., Indradi, R. and Illahika, A. P. (2021) 'Kajian Literatur: Hubungan Tingkat Pengetahuan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) dengan Kejadian Kecelakaan Kerja', *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*, 2(1), pp. 185–193. doi: 10.37148/comphijournal.v2i1.27.
- Johanis, A. R. M. *et al.* (2024) *Pengantar Teknologi Digital: Web dan Mobile Teknologi*. 1st edn. Edited by A. Karim. Makassar: Yayasan Kita Menulis. Available at: https://www.researchgate.net/publication/381291236_Pengantar_Teknologi_Digital_Web_dan_Mobile_Teknologi.
- Kim, H. *et al.* (2019) 'Depression prediction by using ecological momentary assessment, actiwatch data, and machine learning: Observational study on older adults living alone', *JMIR mHealth and uHealth*, 7(10), pp. 1–24. doi: 10.2196/14149.
- Kurniawan, H. *et al.* (2023) *Belajar Web Programming: Referensi Pengenalan Dasar Tahapan Belajar Pemrograman Web Untuk Pemula*. 1st edn. Edited by Efitra and Sepriano. Kota Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=gs3OEAAAQBAJ>.
- Lestari, I. D., Chirzun, A. and Nurhasanah, N. (2023) 'Analisis Kelelahan Kerja Menggunakan Fatigue

- Assessment Scale pada PT. Indonesia Power Priok POMU', *Metris: Jurnal Sains dan Teknologi*, 23(02), pp. 100–107. doi: 10.25170/metris.v23i02.3897.
- Novianti, K. D. P., Putri, N. K. W. L. and Purnamayanti, I. A. G. W. (2022) 'Analisis Penerimaan Sistem Informasi Menggunakan Technology Acceptance Model (Studi Kasus: SIJALAK Desa Pohsanten)', *INSERT : Information System and Emerging Technology Journal*, 2(2), pp. 113–125. doi: 10.23887/insert.v2i2.43135.
- Powell, R. I. and Copping, A. G. (2016) 'Measuring fatigue-related impairment in the workplace', *Journal of Engineering, Design and Technology*, 14(3), pp. 507–525. doi: 10.1108/JEDT-09-2014-0063.
- Putrisani, F. S., Nugraha, A. E. and Herwanto, D. (2023) 'Analisis Kelelahan Kerja Subjektif dengan Menggunakan Kuesioner Subjective Self Rating Test', *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 7(3), p. 258. doi: 10.30998/string.v7i3.14485.
- Seong, S. *et al.* (2022) 'Development of an integrated fatigue measurement system for construction workers: a feasibility study', *BMC Public Health*, 22(1), pp. 1–12. doi: 10.1186/s12889-022-13973-5.
- Setiawan, R. A., Pradana, F. and Bachtar, F. A. (2021) 'Pengembangan Aplikasi Pendeteksi Kelelahan bagi Pengendara Mobil berbasis Android melalui Face Recognition', *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(11), pp. 5163–5172. Available at: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- Sumardiyono, Chafiidhiya Rochmah, S. and Seviana Rinawati (2023) 'Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kelelahan Kerja Pada Pekerja Penyapu Jalan di Kota Surakarta', *Journal of Applied Agriculture, Health, and Technology*, 2(1), pp. 34–42. doi: 10.20961/jaht.v2i1.594.
- Techera, U. *et al.* (2018) 'Measuring and Predicting Fatigue in Construction: Empirical Field Study', *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8), pp. 1–9. doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001513.
- Widayanti, T. (2021) 'Use of Google Form in Support of Data Collection for Student Scientific Work', *Judimas*, 1(1), p. 85. doi: 10.30700/jm.v1i1.1015.
- Zuraida, R. and Chie, H. H. (2014) 'Pengujian Skala Pengukuran Kelelahan (SPK) pada Responden di Indonesia', *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 5(2), p. 1012.