



SMART SAFETY SHOES: INTERNET OF THINGS BASED ANTI FATIGUE SENSORS TO PREVENT MUSCULOSKELETAL DISORDERS

SMART SAFETY SHOES PENCEGAH MUSCULOSKELETAL DISORDERS DENGAN SENSOR ANTI LELAH BERBASIS INTERNET OF THINGS

Rohmat Fais Sahhal Hafidhuddin^{1*}, Novia Hayu Rahmawati²,
Mukhammad Jamaludin³, Am Maisarah Disrinama⁴

^{1,2,4} Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya - Indonesia.

³ Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya - Indonesia.

Research Report
Penelitian

ABSTRACT

Background: Occupational injuries in Indonesia increase every year where one of the causes is fatigue. Musculoskeletal disorders (MSDs) is the most common occupational injuries that happen. This problem can be caused by ergonomic factors such as standing position for long periods of time. **Purpose:** Safety shoes can be personal protective equipment to prevent MSDs complaints on the feet. **Method:** Additional designs and features are needed to increase the effectiveness of safety shoes. Smart Safety Shoes are shoes equipped with anti-fatigue sensors where there is a pulse detector and a heating sensor and apply Internet of Things technology by focusing attention to ergonomic concepts. The sensor system in the shoes is connected to the android application via wifi network. The application displays pulse rate, temperature, oxygen saturation, warning and recommendation information, as well as heating sensor control. **Result:** From the results of trials using a random sample, the levels of comfort and safety of these shoes are 83,3% and 83,3%, so they are quite effective to use. **Conclusion:** Foot fatigue can be relieved by turning on the heating sensor for about 5-10 minutes for maximum comfort so that MSDs can be prevented as early as possible.

ABSTRAK

Latar belakang: Kecelakaan kerja di Indonesia meningkat setiap tahunnya dimana salah satu penyebabnya adalah faktor kelelahan. *Musculoskeletal disorders* (MSDs) menjadi penyakit akibat kerja yang paling banyak terjadi. Masalah ini dapat disebabkan faktor ergonomi seperti posisi kerja berdiri dalam jangka waktu lama. **Tujuan:** *Safety shoes* dapat menjadi alat pelindung diri untuk mencegah keluhan MSDs pada kaki. **Metode:** Desain dan fitur tambahan diperlukan guna meningkatkan efektivitas *safety shoes*. *Smart Safety Shoes* merupakan sepatu yang dilengkapi sensor anti lelah dimana terdapat pendeteksi denyut nadi dan sensor pemanas serta menerapkan teknologi *Internet of Things* dengan memperhatikan konsep ergonomis. Sistem sensor dalam sepatu terhubung pada aplikasi android melalui jaringan wifi. Aplikasi menampilkan kecepatan denyut nadi, suhu, saturasi oksigen, informasi peringatan, dan rekomendasi serta pengendali sensor pemanas. **Hasil:** Dari hasil uji coba menggunakan random sample didapatkan tingkat kenyamanan dan keamanan sepatu ini masing-masing 83,3% dan 83,3%, sehingga cukup efektif untuk digunakan. **Kesimpulan:** Rasa lelah pada kaki dapat diredakan dengan menyalakan sensor pemanas sekitar 5-10 menit untuk mendapatkan kenyamanan maksimal, sehingga MSDs dapat dicegah sedini mungkin.

ARTICLE INFO

Received 09 September 2021

Revised 13 September 2021

Accepted 04 November 2021

Online 08 November 2021

Correspondence:

Rohmat Fais Sahhal Hafidhuddin

E-mail :

rfais30@student.pps.ac.id

Keywords:

Smart safety shoes, Musculoskeletal disorders, Ergonomic factors, Anti-fatigue sensors, Internet of Things

Kata kunci:

Smart Safety Shoes, Musculoskeletal disorders, Faktor ergonomi, Sensor anti lelah, Internet of Things



PENDAHULUAN

Kecelakaan kerja di Indonesia meningkat setiap tahunnya, dan pada tahun 2020 mencapai 221.740 kasus (BPJS Ketenagakerjaan, 2000). Sebanyak dua juta pekerja meninggal dunia setiap tahunnya akibat kecelakaan kerja akibat faktor kelelahan, dimana sebanyak 32,8% mengalami kelelahan dari 58.115 sampel yang diteliti (ILO dalam Permatasari *et al.*, 2017). Berdasarkan data dari Departemen Tenaga Kerja dan Transmigrasi dalam Sartono *et al.* (2016), di Indonesia setiap hari rata-rata terjadi 414 kasus kecelakaan kerja, dimana 27,8% diantaranya disebabkan oleh kelelahan yang cukup tinggi. Seseorang dapat dikategorikan mengalami kelelahan ketika denyut jantung berada diatas 100 bpm atau melebihi denyut jantung normal yaitu 75-100 bpm (Christensen dalam Ruslani and Nurfajriah, 2015).

Musculoskeletal disorders (MSDs) merupakan penyakit akibat kerja yang paling banyak terjadi dan diperkirakan mencapai 60% dari semua penyakit akibat kerja (WHO dalam Mayasari and Saftarina, 2016). Keluhan *musculoskeletal* akan meningkat, apabila otot menerima beban yang terlalu berat dan berulang ditambah dengan durasi waktu yang lama, dimana tahap pertama *musculoskeletal disorders* salah satunya adalah kelelahan (Tjahayuningtyas, 2019). Rasa lelah merupakan salah satu dampak dari *musculoskeletal disorders* yang dapat mengganggu produktivitas dalam bekerja (Mayasari and Saftarina, 2016). Salah satu faktor yang dapat menyebabkan masalah *musculoskeletal disorders* adalah faktor ergonomi seperti posisi kerja berdiri dengan jangka waktu yang lama (America Podiatric Association dalam (Anggrianti *et al.*, 2017). *Musculoskeletal disorders* terjadi apabila adanya kelelahan dan keletihan terus menerus yang disebabkan oleh frekuensi atau 3 periode waktu yang lama dari usaha otot dalam menerima beban statis (Rozana and Adiatmika, 2014).

Safety shoes merupakan salah satu alat pelindung diri yang dapat digunakan sebagai langkah pengendalian untuk mencegah dampak adanya *musculoskeletal disorders* akibat kelelahan, terutama ketika bekerja dalam posisi kerja berdiri dengan jangka waktu yang lama, yang mana pada posisi kerja tersebut tumpuan berada di kaki. Faktor ergonomi dalam alat pelindung diri perlu diperhatikan agar sesuai dengan postur tubuh pekerja sehingga nyaman dan aman ketika digunakan. Oleh karena itu, muncul sebuah gagasan yaitu "*Smart Safety Shoes* sebagai Alat Pelindung Diri Ergonomis Pencegah *Musculoskeletal Disorders* dengan Sensor Anti Lelah Berbasis *Internet of Things*".

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kharisma *et al.* dalam (D. Dedy, 2019), terkait sepatu kesehatan bermotif budaya, yang merupakan sepatu multiguna

sebagai produk fashion, kesehatan dan edukasi. Alas sepatu terbuat dari kayu sebagai refleksi pijat sebagai fitur kesehatan. Pemberian motif kebudayaan dilakukan sebagai sentuhan fashion dan penambahan barcode QR code dilakukan sebagai sarana edukasi yang terintegrasi dengan aplikasi berbasis android. Pada penelitian ini, dilakukan penerapan fitur kesehatan dan juga pengintegrasian sepatu pada aplikasi android pada sepatu keselamatan, namun dengan fitur dan komponen yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pembuatan *Smart Safety Shoes*.

Smart Safety Shoes akan bekerja dengan mendeteksi denyut nadi pada punggung kaki (*dorsalis pedis*) menggunakan sensor MAX30100. Selain itu, terdapat IC LM35 sebagai pendeteksi suhu yang terhubung dengan *heat insole* dalam sepatu yang akan memberikan efek hangat pada telapak kaki pekerja dengan suhu maksimal 40 °C (Misi, 2018) yang akan menyala secara otomatis, serta dapat dikontrol melalui aplikasi android yang telah di-*install* oleh pengguna. Data denyut nadi serta pengendali sensor pemanas terhubung dengan komponen *Printed Circuit Board* (PCB) yang terdapat pada sepatu sebagai penghubung antara sensor denyut nadi dan sensor pemanas dengan aplikasi android menggunakan konsep *Internet of Things* (Fajar, 2017) melalui jaringan wifi WeMos-D1. Aplikasi akan menampilkan kecepatan denyut nadi, suhu, oksigen, serta memberikan informasi peringatan dan rekomendasi untuk pekerja.

Berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa rumusan masalah yang akan dibahas, yaitu (1) Bagaimana bentuk desain alat yang sesuai untuk mencegah dampak *musculoskeletal disorders* akibat kelelahan saat bekerja?. (2) Bagaimana bentuk *prototype* yang efektif dari sistem yang didesain?. (3) Bagaimana hasil uji efektivitas dari *prototype* yang telah dibuat?. Adapun tujuan yang akan dicapai, antara lain (1) Membuat bentuk desain alat yang dapat mencegah dampak *musculoskeletal disorders* akibat kelelahan saat bekerja. (2) Membuat *prototype* yang efektif dari desain yang dirancang. (3) Menguji efektivitas dari hasil *prototype* yang dibuat.

MATERIAL DAN METODE

Pembuatan produk *prototype* dilakukan secara *hybrid* atau *blended* dimasa pandemi. Pengambilan data dan perangkaian setiap sistem dilakukan secara kombinasi daring dan luring dengan memperhatikan protokol kesehatan. Kegiatan dilaksanakan dalam kurun waktu 4 bulan, yang dimulai pada bulan Juni 2021 dan berakhir pada bulan September 2021. Pembuatan komponen *Printed Circuit Board* (PCB) dan pengambilan

data untuk uji coba sebagai demonstrasi *prototype* dilakukan secara terpisah. Uji coba dilakukan pada pekerja toko material yang memiliki risiko kelelahan yang dapat mengakibatkan keluhan *musculoskeletal disorders* karena banyak melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri. Selain itu, keterbatasan mobilitas ketika pelaksanaan penelitian, maka dipilih tempat kerja terdekat pada daerah peneliti. Proses pembuatan produk adalah sebagai berikut :

• Pembuatan *prototype*

- 1 Melakukan pembuatan desain digital dari *prototype* yang akan dibuat.
- 2 Melakukan pembuatan komponen *Printed Circuit Board* (Suryadi and Putra, 2017) yang terdiri dari WeMos-D1 *Mini* (Dian et al., 2021) ESP8266 (Sasmoko and Wicaksono, 2017), *step down converter* MP1584 (MPS, 2009), *capasitor* millar (Emeraldo and Pangaribuan, 2020), transistor BD139 (Widodo, 2018), *relay coil* EC2-5NU (NEC, 1999) , *relay* (Turang, 2015) , *Light Emitting Diode* (LED), arduino pro mini (Wijaya et al., 2018) , sakelar *on/off*, *socket connector* 2 pin, dan kabel pita 4 pin.
- 3 Melakukan pemasangan *pulse sensor* MAX30100 (Pratama et al., 2021), sensor pendeteksi suhu LM35 (Allo et al., 2013), dan baterai Lithium Polymer 11,1 V 1100 mAh (Oetomo and Halim, 2017) ke komponen *Printed Circuit Board* melalui kabel pita 4 pin.
- 4 Melakukan pembuatan *heat insole* (Yick et al., 2019) yang terdiri dari kawat loket, kain kanvas, dan kain oscar.
- 5 Melakukan pemasangan sensor pendeteksi suhu LM35 dan kabel pita 4 pin ke *heat insole* sebagai pendeteksi suhu dan aliran energi panas.
- 6 Melakukan pengetesan sensor sebelum dipasang ke sepatu keselamatan.
- 7 Melakukan pemasangan seluruh komponen pada sepatu keselamatan sesuai dengan desain yang dibuat sebelumnya.

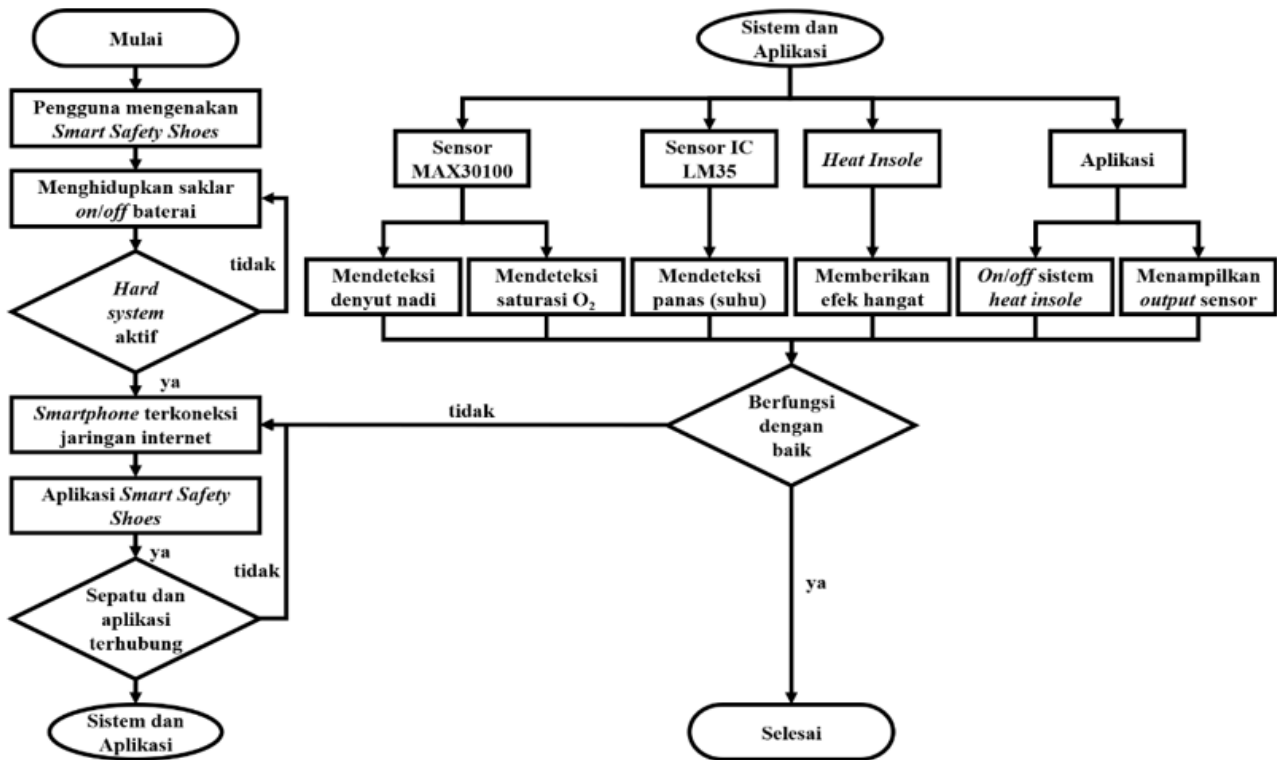
• Pembuatan aplikasi android

- 1 Membuat desain tampilan aplikasi serta ikon-ikon yang diperlukan.
- 2 Melakukan pembuatan dan pemrograman aplikasi.
- 3 Melakukan pengetesan aplikasi bersama dengan sensor sebelum seluruh komponen dipasang ke sepatu keselamatan.

• Uji coba *prototype* dan aplikasi

- 1 Menentukan objek uji coba berupa random sampel pekerja terutama yang melakukan pekerjaan dalam posisi berdiri.
- 2 Memasangkan *Smart Safety Shoes* pada pekerja.
- 3 Melakukan login aplikasi untuk melihat output dari sensor *prototype*.
- 4 Mencatat hasil *output* sensor sebanyak tiga kali pengukuran untuk dianalisis.
- 5 Menyebarkan kuesioner untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan produk menurut objek uji coba secara subjektif. Kuesioner yang digunakan terdiri dari tiga pertanyaan kategori skala ordinal, empat pertanyaan kategori skala rasio, dan lima pertanyaan kategori skala nominal.
- 6 Melakukan uji coba pembanding fungsional sensor dengan menggunakan *pulse oxymeter* (Salamah and Sasono, 2015) untuk mengetahui persentase *error* dari sensor MAX30100 pada *prototype*.
- 7 Mengolah dan menganalisis data hasil kuesioner dan uji coba pembanding.

Gambar 1. merupakan diagram alur kerja dari sistem *Smart Safety Shoes*. Ketika pengguna menggunakan sepatu keselamatan "*Smart Safety Shoes*" dapat menghidupkan saklar *on/off* baterai dan mengoneksikan aplikasi *Smart Safety Shoes* di android dengan internet wifi pada sistem sepatu. Kemudian, setelah sepatu dan aplikasi tersambung maka *output* pada sistem sensor dalam sepatu akan ditampilkan secara *real-time* sesuai dengan pembacaan sensor. Fitur *on/off* pada aplikasi *Smart Safety Shoes* dapat digunakan sebagai kontrol sistem pemanas *heat insole* pada sepatu yang digunakan sebagai fitur pencegah kelelahan dengan memberikan relaksasi pada kaki melalui efek hangat yang dihasilkan, dimana *heat insole* juga bekerja berdasarkan kondisi denyut nadi pekerja. Zona lelah akan terdeteksi jika MAX30100 pada *Smart Safety Shoes* membaca denyut nadi dorsalis pedis mulai dari ≥ 100 bpm, dimana *heat insole* sebelumnya telah dinyalakan melalui kontrol sistem pemanas pada aplikasi, sehingga pekerja dapat mengetahui bahwa kondisinya sedang lelah. *Heat insole* juga otomatis mati ketika denyut nadi terbaca sebesar ≤ 100 bpm dan suhu *heat insole* yang terdeteksi IC LM35 mencapai $\geq 40^{\circ}\text{C}$ atau dapat dimatikan melalui kontrol sistem pemanas pada aplikasi.



Gambar 1. Alur kerja sistem Smart Safety Shoes

HASIL

Prototype Smart Safety Shoes yang dibuat berupa sepatu keselamatan yang dilengkapi sistem sensor anti lelah dengan fitur pendeteksi denyut nadi MAX30100 dan fitur penghangat berupa heat insole. Berikut adalah desain prototype yang dirancang dapat mencegah risiko musculoskeletal disorders.



Gambar 2. Desain dan prototype Smart Safety Shoes

Gambar 2(a), merupakan desain 3D dari Smart Safety Shoes sebagai produk virtual dan bahan pembuatan video demonstrasi produk yang kemudian diimplementasikan dalam prototype produk fungsional Gambar 2(b). Bagian kotak hitam yang terletak menempel di bagian luar sepatu merupakan baterai Lithium Polymer 11,1 V 1100 mAh sebagai sumber daya sistem yang dilapisi kulit sebagai pengaman. Memiliki berat 78 gram, penambahan kotak baterai tidak akan memberikan berat yang signifikan ketika sepatu dipakai, sehingga tidak mengganggu keefektifan dalam bekerja. Komponen Printed Circuit Board sebagai tempat meletakkan komponen penghubung sepatu dengan aplikasi android yaitu WeMos-D1 terletak di bagian dalam sepatu di samping baterai yang dilapisi dengan kulit tambahan. Pada komponen Printed Circuit Board juga terdapat komponen lain seperti modul relay yang terhubung dengan IC LM35. Sensor MAX30100 diletakkan dilidah sepatu pada posisi punggung kaki letak arteri dorsalis pedis untuk mendeteksi denyut nadi pengguna secara real time. IC LM35 diletakkan di bagian belakang pada posisi bawah dalam sepatu dan menempel dengan heat insole untuk mendeteksi suhu yang dihasilkan dan yang mempengaruhi panas dari heat insole. Perangkat sensor tertanam dalam body sepatu yang dilapisi bantalan spons dan kulit, sehingga tidak akan menyebabkan nyeri pada kaki pekerja.



Gambar 3. Tampilan aplikasi *Smart Safety Shoes*

Gambar 3, merupakan tampilan aplikasi android sebagai *output* dari fitur anti lelah yang dihasilkan oleh sensor sepatu. Gambar 3(a), merupakan tampilan *login* aplikasi. Gambar 3(b1) dan Gambar 3(b2), menampilkan output fitur anti lelah seperti kecepatan denyut nadi, suhu *heat insole*, saturasi oksigen, serta tombol informasi peringatan dan rekomendasi yang *output*-nya ditampilkan pada Gambar 3(c), dan ketika di-*scroll* ke bawah terdapat pusat pengendali sensor panas sebagai kontrol dari sistem pemanas pada sepatu. Ketika denyut nadi terbaca, maka ditampilkan kondisi terkini serta rekomendasi yang dapat dilakukan oleh pengguna

sesuai rentang denyut nadi yang telah diprogram pada aplikasi yang ditampilkan pada Gambar 3(c) dan Gambar 3(d), merupakan profil pengguna, keamanan akun, serta informasi kontak dari produk.

Uji coba *prototype* dilakukan dengan sampel dan responden sebanyak 6 orang karyawan di toko material. Uji coba dilakukan untuk mengetahui tingkat fungsional, kenyamanan dan keamanan *prototype*. Pendataan hasil uji coba dilakukan dengan menyebarkan kuesioner setelah *prototype* diujikan secara langsung, dengan hasil yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perekaman sensor MAX30100 dari *Smart Safety Shoes* pada nadi *dorsalis pedis*

Pekerja	Posisi kerja	Waktu kerja	Pengukuran denyut nadi (bpm)			
			ke-1	ke-2	ke-3	Rata-rata
Pekerja 1	berdiri	7 jam	110	108	100	106
Pekerja 2	berdiri	> 8 jam	120	115	118	118
Pekerja 3	berdiri	> 8 jam	100	98	100	99
Pekerja 4	berdiri	> 8 jam	115	106	109	110
Pekerja 5	berdiri	> 8 jam	118	113	116	116
Pekerja 6	berdiri	> 8 jam	98	100	97	98

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa dari 6 sampel pekerja secara keseluruhan bekerja dengan aktivitas kerja mengangkat barang sebanyak 4 orang, operator sistem sebanyak 1 orang, dan pengawas distribusi barang sebanyak 1 orang dalam posisi berdiri dengan jangka waktu 1 orang selama 7 jam dan 5 orang lainnya selama lebih dari 8 jam. Pengukuran denyut nadi ke-1 hingga ke-3 sebagai sampel yang digunakan untuk mengecek fungsional sistem sensor dapat bekerja dengan baik dilakukan dalam kurun waktu setiap 1 menit. Didapatkan rata-rata 106 bpm (beban kerja sedang), 118 bpm (beban kerja sedang), 99 bpm (beban kerja ringan), 110 bpm (beban kerja sedang), 116 bpm (beban kerja sedang), dan 98 bpm (beban kerja

ringan). Sebagai pembanding dilakukan pengukuran menggunakan *pulse oxymeter* di ujung jari tangan untuk mengetahui persentase *error* data sensor MAX30100 dari *Smart Safety Shoes*.

Dari hasil pengukuran rata-rata *pulse oxymeter* pada Tabel 2., persentase *error* dari sensor MAX30100 memiliki rentang 0,95% hingga 3,57%. Perbedaan pembacaan sensor MAX30100 pada *Smart Safety Shoes* tidak terlalu besar atau dapat dikatakan berfungsi dengan baik. Sementara itu, pengolahan data kuesioner uji coba efektivitas didapatkan persentase tingkat kenyamanan dan keamanan *prototype* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Keakuratan sensor MAX30100 dari *Smart Safety Shoes* dengan *pulse oxymeter*

Pengukuran denyut nadi	Pekerja					
	1	2	3	4	5	6
MAX30100 dari <i>Smart Safety Shoes</i> (bpm)	106	118	99	110	116	98
<i>Pulse oxymeter</i> (bpm)	105	115	98	107	112	101
Persentase error (%)	0,95%	2,61%	1,02%	2,8%	3,57%	2,97%

Tabel 3. Persentase tingkat kenyamanan dan keamanan *prototype*

Rentang	Keterangan			
	4	3	2	1
Tingkat kenyamanan (orang)	5	1	0	0
Persentase (%)	83,3%	16,7%	0%	0%
Tingkat keamanan (orang)	5	1	0	0
Persentase (%)	83,3%	16,7%	0%	0%

Berdasarkan Tabel 3, sebanyak 5 orang memilih rentang 4 (sangat nyaman/ sangat aman) untuk masing-masing tingkat kenyamanan dan keamanan *prototype*. Dengan demikian, *prototipe* memiliki tingkat kenyamanan sebesar 83,3% dan tingkat keamanan sebesar 83,3% sehingga dapat dikatakan layak pakai dan perlu ada penelitian lanjutan untuk *durability* dari sepatu tersebut.

Keunggulan *Smart Safety Shoes*, memiliki fitur unggulan anti lelah untuk mencegah risiko kelelahan dan *musculoskeletal disorders* pada pengguna dengan mendeteksi denyut nadi sebagai parameter kelelahan, sehingga pencegahan dapat dilakukan sedini mungkin. Penerapan teknologi *Internet of Things*, sehingga output sensor fitur anti lelah sepatu terintegrasi dengan aplikasi android serta pengguna dapat melakukan beberapa tindakan preventif pada rekomendasi sesuai pembacaan denyut nadi untuk mencegah rasa lelah dan keluhan *musculoskeletal disorders* yang dialami. Kelemahan *Smart Safety Shoes*, memiliki harga jual lebih mahal dibandingkan sepatu keselamatan biasa yang hanya dapat melindungi kaki dari *hazard*, namun sesuai fitur yang ditawarkan. Aplikasi android memerlukan pengembangan lanjutan agar dapat menampilkan notifikasi dari peringatan yang dihasilkan.

PEMBAHASAN

Dari hasil yang didapatkan, *Smart Safety Shoes* memiliki perbedaan dari penelitian yang dilakukan oleh Kharisma et al. dalam (D. Dedy, 2019) terkait sepatu kesehatan. Sepatu milik Kharisma et al. dalam (D. Dedy, 2019), merupakan sepatu kasual bermotif batik sebagai produk fashion, fitur kesehatan berbahan kayu pijat refleksi, dan aplikasi android sebagai sarana edukasi motif batik sepatu dengan memindai QR code pada sepatu. Sementara itu, *Smart Safety Shoes* menggunakan sepatu keselamatan sebagai pelindung kaki dari *hazard*, menambahkan fitur kesehatan anti

lelah dengan beberapa komponen utama seperti sensor MAX30100 sebagai pendeteksi denyut nadi, IC LM35 sebagai pendeteksi suhu sistem pemanas, dan *heat insole* sebagai sistem pemanas untuk tindakan *preventif* dari kelelahan yang dialami oleh pekerja melalui efek hangat yang dihasilkan sebagai relaksasi, dengan bahan kawat loket yang dapat menghantarkan panas dengan peredam kain kanvas dan kain oscar agar tidak menimbulkan sengatan listrik langsung pada pengguna, dan aplikasi android sebagai tampilan output sistem sensor sepatu serta rekomendasi terkait hasil pembacaan sensor.

Uji efektivitas *Smart Safety Shoes* dilakukan dengan sampling pekerja melalui kuesioner dengan skala 1 s.d. 4 (1 = sangat tidak nyaman/ tidak aman, 2 = cukup nyaman/ aman, 3 = nyaman/ aman, dan 4 = sangat nyaman/ aman). Hasil uji coba tingkat kenyamanan dan keamanan mayoritas responden memberikan skala tertinggi dalam penilaian sehingga dapat dikatakan layak pakai dan perlu ada penelitian lanjutan mengenai keawetan atau *durability*.

Pembuatan sepatu keselamatan dengan fitur anti lelah terintegrasi aplikasi android baru pertama kali dilakukan dalam penelitian ini sehingga *Smart Safety Shoes* menggunakan sensor yang banyak digunakan mendeteksi kelelahan terutama pada denyut nadi sebagai indikator rasa lelah seperti MAX30100 yang ada pada *pulse oxymeter* yang juga dapat mendeteksi saturasi oksigen. Penelitian lanjutan dapat dilakukan sebagai pengembangan *prototype* serta aplikasi yang telah dibuat dan juga *durability* atau keawetannya.

KESIMPULAN

Dari uji coba yang dilakukan, *Smart Safety Shoes* telah dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan peletakan fitur anti lelah yang dapat mencegah dampak *musculoskeletal disorders* maupun kelelahan. *Prototype* hasil implementasi rancangan desain, telah

terselesaikan dan diuji coba. Uji coba efektivitas prototype berdasarkan tingkat kenyamanan dan keamanan yang dirasakan oleh sampel pekerja didapatkan hasil dengan persentase masing-masing 83,3% dan 83,3%. Rekomendasi penggunaan sensor pemanas adalah 5-10 menit untuk mendapatkan tingkat kenyamanan maksimal. Dengan demikian, *prototype* telah layak dilakukan produksi lanjutan, dan dapat dilakukan penelitian lanjutan terkait pengembangan produk seperti penambahan fitur notifikasi sepatu dan aplikasi, dan pengintegrasian dengan website operator utama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, responden uji coba, orang tua, dan pihak lain yang telah terlibat. Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Allo, D.K., Mamahit, D.J., Bahrin, B., Tulung, B.M., 2013. Rancang Bangun Alat Ukur Temperatur untuk Mengukur Selisih Dua Keadaan. *J. Tek. Elektro dan Komput.* 2, Pp.1-8.
- Anggrianti, S.M., Kurniawan, B., Widjasana, B., 2017. Hubungan antara Postur Kerja Berdiri dengan Keluhan Nyeri Kaki pada Pekerja Aktivitas Mekanik Section Welding di PT. X. *J. Kesehat. Masy. Univ. Diponegoro* 5, Pp.369-377.
- BPJS Ketenagakerjaan, 2000. Laporan Tahunan Terintegrasi 2020: Menghadapi Tantangan Berkelanjutan. Jakarta.
- Dedy, D., 2019. Sepatu Kesehatan Bermotif Budaya. *Univ. Negeri Yogyakarta Karya Mahasiswa*.
- Dian, J., Silalahi, F.D., Setiawan, N.D., 2021. Sistem Monitoring Detak Jantung untuk Mendeteksi Tingkat Kesehatan Jantung berbasis Internet of Things menggunakan Android. *JUPITER (Jurnal Penelit. Ilmu dan Teknol. Komputer)* 13, Pp.69-75.
- Emeraldo, E., Pangaribuan, H., 2020. Perancangan Saklar Otomatis pada Penyimpanan Energi Listrik berbasis Arduino. *J. Khazanah Ilmu Berazam* 3, Pp.319-326.
- Fajar, M., 2017. Implementasi Modul Wifi NodeMCU ESP8 untuk Smart Home. *KOMPUTIKA (Jurnal Sist. Komputer-Unikom)* 6, Pp.1-6.
- Mayasari, D., Saftarina, F., 2016. Ergonomi Sebagai Upaya Pencegahan Musculoskeletal Disorders pada Pekerja. *J. Kedokt. Univ. Lampung* 1, 369–379.
- Misi, S.P., 2018. Persepsi Konsumen terhadap Teknik Pemijatan Hot Stone di Refleksi Bambu Bali. *Univ. Negeri Makassar. Universitas Negeri Makassar*.
- MPS, 2009. MP1584 3a, 1.5 MHz Step-Down Converter.
- NEC, 1999. Data Sheet Miniature Signal Relay EC2 Series.
- Oetomo, O., Halim, L., 2017. Perancangan dan Implementasi Sistem Charging & Monitoring Batrai Lithium. Universitas Katolik Parahyangan.
- Permatasari, A., Rezal, F., Munandar, S., 2017. Faktor yang Berhubungan dengan Kelelahan Kerja pada Karyawan di Matahari Department Store Cabang Lippo Plaza Kendari Tahun 2016. *JIM KESMAS (Jurnal Ilm. Mhs. Kesehat. Masyarakat)* 2, Pp.1-11.
- Pratama, R.A., Bangsa, I.A., Rahmadewi, R., 2021. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan. J. Ilm. Wahana Pendidik.* 7, 161–168.
- Rozana, F., Adiatmika, I.P.G., 2014. Tingkat Kelelahan dan Keluhan Muskuloskeletal pada Penjahit di Kota Denpasar Provinsi Bali. *E-Jurnal Med. Udayana* 3, 615–627.
- Ruslani, L., Nurfajriah, N., 2015. Analisis Beban Kerja Fisiologi dan Psikologi Karyawan Pembuatan Baju di PT. Jaba Garmino Majalengka. *Bina Tek.* 11, Pp.114-123.
- Salamah, U., Sasono, M., 2015. Rancang Bangun Pulse Oximetry berbasis Personal Computer sebagai Deteksi Kejenuhan Oksigen dalam Darah. *Pros. Pertem. dan Present. Ilm. Teknol. Akselerator dan Apl.* 17, Pp.60-64.
- Sartono, S., Martaferry, M., Winaresmi, W., 2016. Hubungan Faktor Internal dan Faktor Eksternal Karyawan dengan Kelelahan Kerja pada Karyawan Laundry Garment di Bagian Produksi CV. Sinergie Laundry Jakarta Barat Tahun 2013. *UHAMKA (Universitas Muhammadiyah Prof. Hamka)* 1, Pp.64-72.
- Sasmoko, D., Wicaksono, Y.A., 2017. Implementasi Penerapan Internet of Things (IoT) pada Monitoring Infus Menggunakan ESP 8266 dan Web untuk Berbagi Data. *J. Ilm. Inform.* 2, Pp.90-98.
- Suryadi, A., Putra, C.P., 2017. Rancang Bangun Alat Pelarut Printed Circuit Board. *J. ELEKTRA* 2, Pp.67-75.
- Tjahyuningtyas, A., 2019. Faktor yang Mempengaruhi Keluhan Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Pekerja Informal. *IJOOSH (The Indones. J. Occupational Saf. Heal.* 8, Pp.1-10.
- Turang, D.A.O., 2015. Pengembangan Sistem Relay Pengendalian dan Penghematan Pemakaian Lampu Berbasis Mobile. *Semin. Nas. Inform.* 1, Pp.75-85.
- Widodo, S.S., 2018. Desain Lampu Emergency dengan Teknologi Switching. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wijaya, R.A., Lestari, S.W.L.W., Mardiono, M., 2018. Rancang Bangun Alat Monitoring Suhu dan Kelembaban Pada Alat Baby Incubator Berbasis Internet of Things. *J. Teknol. Fak. Teknol. Ind. Univ. Jayabaya* 6, Pp.52-70.
- Yick, K.-L., Yu, A., Li, P., 2019. Insights Into Footwear Preferences and Insole Design to Improve Thermal Environment of Footwear. *Int. J. Fash. Des. Technol. Educ.* 12, Pp.1-10.