



Jurnal Teknologi Maritim Volume 7 No 2 Tahun 2024
21 Agustus 2024 / 10 Oktober 2024 / 14 Oktober 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppons.ac.id>

Pemanfaatan Jam Tangan Pintar Komersial untuk Mengukur Getaran Tangan dalam Rangka Meningkatkan Keselamatan Pembuatan Kapal di Indonesia: Identifikasi Tantangan dan Peluang

Mochamad Yusuf Santoso^{1*}, Aulia Nadia Rachmat¹, Mades Darul Khairansyah¹, Joko Endrasmono², Renato Senna Satriano¹, Robie Kuncoro¹

¹Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri, Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

²Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, , Jl. Teknik Kimia, ITS, Sukolilo, 60111, Indonesia

Abstrak. Paparan getaran tangan-lengan di tempat kerja merupakan masalah yang umum terjadi di industri pembuatan kapal, yang sering kali menyebabkan kondisi kesehatan yang melemahkan bagi para pekerja. Metode pengukuran paparan getaran lengan-tangan yang saat ini umum digunakan bisa mahal dan tidak praktis, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui kelayakan penggunaan jam tangan pintar yang tersedia secara komersial untuk mengukur dan memantau paparan getaran lengan-tangan di antara para pekerja pembuatan kapal di Indonesia. Kami melakukan eksperimen menggunakan Samsung Galaxy Watch 4, model jam tangan pintar populer yang tersedia di pasar Indonesia, untuk mengukur getaran yang dihasilkan selama tugas-tugas pembuatan kapal yang umum. Temuan kami menunjukkan potensi jam tangan pintar sebagai alat yang mudah diakses untuk memantau paparan getaran lengan-tangan. Hasil pengukuran untuk salah satu pekerjaan menunjukkan nilai deviasi standar sebesar 4,68%. Data yang dikumpulkan memberikan informasi tentang tingkat getaran yang dialami oleh para pekerja, yang berpotensi digunakan dalam pengendalian risiko bahaya. Selain itu, studi ini mengidentifikasi tantangan dan peluang yang terkait dengan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk keselamatan dan kesehatan kerja, termasuk perlunya validasi yang ketat, pelatihan pengguna, dan integrasi dengan sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang ada.

Katakunci: Getaran tangan dan lengan, Indonesia, jam tangan pintar, keselamatan kerja, pembuatan kapal

Abstract. Exposure to hand-arm vibration in the workplace is a common issue in the shipbuilding industry, often leading to debilitating health conditions for workers. The method of measuring hand-arm vibration exposure that is currently commonly used can be expensive and impractical, especially in developing countries like Indonesia. The aim of this study is to determine the feasibility of using commercially available smartwatches to measure and monitor hand-arm vibration exposure among shipbuilding workers in Indonesia. We conducted an experiment using the Samsung Galaxy Watch 4,

Email Korespondensi: yusuf.santoso@ppns.ac.id
doi: 10.35991/jtm.v7i2.16

a popular smartwatch model available in the Indonesian market, to measure the vibrations generated during common shipbuilding tasks. Our findings indicate the potential of smartwatches as accessible tools for monitoring hand-arm vibration exposure. The measurement results for one of the jobs show a standard deviation value of 4.68%. The collected data provides information about the vibration levels experienced by the workers, which could be used in hazard risk management. Additionally, this study identifies the challenges and opportunities associated with the use of commercial smartwatches for occupational safety and health, including the need for rigorous validation, user training, and integration with existing occupational safety and health systems.

Keywords: Hand-Arm Vibration, Indonesia, Occupational Safety, Shipbuilding, Smartwatch

1. Pendahuluan

Industri perkapalan di Indonesia memegang peranan penting dalam perekonomian nasional, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan lapangan kerja dan Pendapatan Domestik Bruto (PDB) (Praharsi et al., 2020). Perkapalan merupakan komponen penting dari ekonomi global, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan bagi para pekerja. Perkapalan dan industri terkait konstruksi lainnya secara rutin memaparkan para pekerja pada berbagai risiko keselamatan, termasuk jatuh, tabrakan dengan peralatan, dan tingkat paparan getaran yang berbahaya (Safety and Health in Shipbuilding and Ship Repair, 2019). Paparan terhadap getaran, khususnya yang ditularkan melalui tangan dan lengan, dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius seperti *hand-arm vibration syndrome* (HAVS) dan gangguan muskuloskeletal lainnya (Krajnak, 2018).

Paparan getaran tangan-lengan yang berlebihan dapat menyebabkan HAVS, yang menyebabkan kerusakan ireversibel pada sistem neurologis, vaskular, dan muskuloskeletal. Pekerja di industri maritim, termasuk yang terlibat dalam pembuatan kapal, sangat rentan terhadap getaran tangan-lengan karena sifat pekerjaan mereka, yang sering kali memerlukan penggunaan perkakas listrik dan mesin (Forsell et al., 2017). Selain dampak pada tangan dan lengan, penelitian juga menunjukkan bahwa paparan getaran seluruh tubuh yang berkepanjangan, seperti yang dialami oleh operator kendaraan berat dan peralatan yang umum dalam konstruksi dan pengaturan maritim, dapat mengakibatkan berbagai efek kesehatan negatif. Strategi untuk mengurangi risiko ini sangat penting, karena cedera akibat getaran dapat melemahkan dan memiliki konsekuensi pribadi dan ekonomi yang signifikan (Awolusi et al., 2018; Forsell et al., 2017; Krajnak, 2018). Manajemen yang efektif terhadap waktu pemicu alat genggam dan pemantauan tingkat paparan sangat penting dalam mengurangi risiko yang terkait dengan HAV (Edwards et al., 2021).

Pengukuran paparan getaran tangan-lengan yang akurat sangat penting untuk mencegah HAVS dan memastikan keselamatan pekerja. Metode tradisional melibatkan pemasangan akselerometer langsung pada gagang alat untuk mengukur getaran. Akselerometer yang dipasang dengan tangan juga digunakan, tetapi akselerometer tersebut dapat merekam tingkat getaran yang lebih rendah dibandingkan dengan akselerometer yang dipasang pada alat karena adanya variasi dalam cara pekerja memegang alat (Clemm et al., 2021; Oh, 2022). Kemajuan terkini mencakup dosimeter getaran yang terintegrasi dengan adaptor tangan, yang mengukur besarnya getaran pada antarmuka tangan-gagang dan memberikan dosis paparan harian dengan gangguan minimal pada aktivitas pekerjaan (Oh et al., 2023). Namun,

perangkat khusus ini bisa mahal dan memerlukan pelatihan dan perawatan khusus (Krajnak, 2018).

Munculnya jam tangan pintar komersial yang terjangkau dengan sensor gerak terintegrasi memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan ini. Perangkat yang dapat dipakai di pasaran ini berpotensi mengukur getaran tangan dengan akurasi yang dapat diterima dengan biaya yang jauh lebih murah daripada alat pengukur getaran tradisional (Krajnak, 2018; Laput & Harrison, 2019). Hal ini dapat memungkinkan pemantauan paparan getaran yang lebih luas dan memfasilitasi penerapan langkah-langkah pengendalian yang efektif untuk melindungi Kesehatan pekerja. Selain itu, pasar jam tangan pintar Indonesia adalah yang terbesar di Asia Tenggara, dengan tingkat pertumbuhan tahunan yang diproyeksikan lebih dari 20% (Sekardhani & Song, 2022) - adopsi yang meluas ini menghadirkan jalan yang menjanjikan untuk memanfaatkan teknologi ini guna mengatasi risiko terkait getaran di industri pembuatan kapal lokal. Namun, penggunaan jam tangan pintar komersial untuk tujuan ini menimbulkan beberapa tantangan teknis dan praktis yang harus diatasi.

Penelitian ini akan mengevaluasi penggunaan jam tangan pintar komersial sebagai alternatif metode pengukuran getaran tradisional. Selain itu, penelitian ini akan mengeksplorasi peluang dan tantangan dalam mengadopsi teknologi ini untuk memantau paparan getaran di industri perkapalan Indonesia. Temuan penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan solusi yang mudah diakses dan praktis untuk memantau dan mengurangi risiko getaran tangan-lengan, yang pada akhirnya bertujuan untuk meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja di industri perkapalan.

2. Tinjauan Pustaka

Paparan getaran yang ditransmisikan oleh tangan merupakan masalah yang signifikan dalam industri pembuatan kapal (Jang et al., 2002; Pribadi & Shinoda, 2020). Paparan getaran merupakan bahaya pekerjaan yang terdokumentasi dengan baik di antara pekerja galangan kapal, yang sering menggunakan perkakas listrik dan mesin yang menghasilkan getaran tangan-lengan yang signifikan (Jang et al., 2002; Krajnak, 2018; Saeidnia et al., 2022). Para peneliti telah melakukan penilaian komprehensif terhadap tingkat paparan getaran di lingkungan pembuatan kapal, yang memberikan wawasan berharga tentang besarnya dan durasi getaran yang dialami oleh para pekerja. Satu studi mengukur paparan getaran pekerja galangan kapal yang menggunakan berbagai alat getar, mengukur hubungan dosis-respons antara paparan seumur hidup dan perkembangan HAVS (Jang et al., 2002). Para peneliti menemukan bahwa paparan getaran kumulatif, yang diukur dengan nilai dosis getaran, merupakan prediktor signifikan dari tingkat keparahan gejala yang disebabkan oleh getaran. Demikian pula, studi lain meneliti dampak paparan getaran terhadap kinerja manual dan ketangkasan pelaut, yang menunjukkan konsekuensi luas dari kecacatan akibat getaran. (Saeidnia et al., 2022). Temuan ini menggarisbawahi kebutuhan kritis akan pemantauan getaran dan strategi mitigasi yang efektif dalam industri pembuatan kapal untuk menjaga kesehatan dan produktivitas pekerja.

Pengukuran akurat paparan getaran tangan-lengan (HAV) sangat penting untuk menilai risiko dan mengembangkan langkah-langkah pengendalian yang tepat. Secara tradisional, hal ini dicapai dengan memasang akselerometer langsung pada gagang perkakas listrik untuk mengukur besarnya dan frekuensi getaran yang dialami pekerja selama penggunaan (Jang et al., 2002; Krajnak, 2018). Pendekatan ini, meskipun memberikan data yang akurat, dapat merepotkan dan dapat mengganggu pegangan alami dan pengoperasian perkakas. Metode alternatif melibatkan pemasangan akselerometer langsung ke tangan pekerja, yang dapat

menangkap getaran pada titik kontak. Namun, teknik ini memungkinkan adanya pengukuran di bawah tingkat getaran sebenarnya karena efek peredaman antarmuka perkakas tangan (Ainsa et al., 2011). Untuk mengatasi keterbatasan ini, para peneliti telah mengeksplorasi penggunaan dosimeter getaran yang terintegrasi dengan adaptor tangan, yang mengukur getaran pada antarmuka pegangan tangan dan memberikan dosis paparan harian dengan gangguan minimal pada aktivitas pekerjaan. Meskipun perangkat khusus ini menawarkan akurasi yang lebih baik, harganya mahal dan memerlukan pelatihan serta perawatan khusus, sehingga membatasi penerapannya secara luas (Dong et al., 2021; Pitts & Brereton, 2016). Hal ini khususnya menjadi masalah di wilayah berkembang seperti Indonesia, di mana akses ke instrumen pengukuran getaran canggih mungkin terbatas dan mahal (Prasasti & Hermawanto, 2020).

Jam tangan pintar komersial dapat digunakan untuk pemantauan getaran, khususnya dalam konteks pencegahan risiko pekerjaan. Jam tangan pintar komersial, seperti yang menggunakan sistem operasi Android Wear, dilengkapi dengan akselerometer *Micro-electro-mechanical system* (MEMS) yang dapat menangkap besarnya dan frekuensi percepatan. Sensor ini dapat digunakan untuk menganalisis getaran tangan-lengan dan aktivitas fisik yang terkait dengan pencegahan risiko pekerjaan (Sigcha et al., 2018). Beberapa penelitian telah mengeksplorasi kelayakan dan keakuratan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk pengukuran getaran. Temuan menunjukkan bahwa perangkat ini dapat memberikan solusi praktis dan hemat biaya untuk penilaian getaran waktu nyata dalam berbagai pengaturan pekerjaan, termasuk yang melibatkan perkakas listrik dan mesin genggam (Clemm et al., 2021; Sigcha et al., 2018). Selain itu, integrasi aplikasi telepon pintar semakin meningkatkan potensi teknologi yang dapat dikenakan untuk memantau getaran tangan-lengan, menawarkan metode yang murah dan serbaguna untuk penilaian awal paparan getaran di berbagai lingkungan kerja, sehingga meningkatkan kesadaran tentang gangguan yang disebabkan oleh getaran dan pencegahannya (Dong et al., 2021).

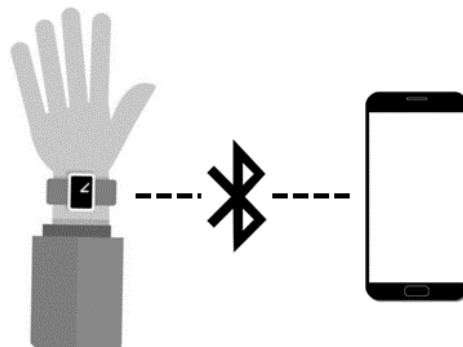
3. Metode

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk mengukur paparan getaran tangan-lengan di industri pembuatan kapal. Studi ini melibatkan langkah-langkah berikut: menguji jam tangan pintar untuk pengukuran getaran tangan-lengan dan menganalisis peluang dan tantangan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran.

Model jam tangan pintar yang dipilih diuji di laboratorium untuk menilai kemampuannya dalam mengukur besaran getaran tangan-lengan. Gergaji tangan elektrik digunakan sebagai sumber getaran, dan jam tangan pintar dikenakan di tangan pekerja untuk menangkap data getaran. Jam tangan pintar berbasis android dipilih untuk pengujian, yaitu Samsung Galaxy Watch 4. Selain itu, aplikasi khusus untuk jam tangan pintar disiapkan untuk memungkinkan pengumpulan data getaran berkelanjutan, analisis, dan pembuatan laporan.



Gambar 1 Penggunaan gergaji listrik saat pengukuran getaran lengan tangan menggunakan jam tangan pintar



Gambar 2 Skema transmisi data getaran tangan-lengan dari *smartwatch* ke *smartphone*

Gambar 1 menunjukkan pengaturan umum untuk menguji jam tangan pintar di lingkungan laboratorium, sementara Gambar 2 menunjukkan skema transmisi data dari jam tangan ke perangkat *smartphone*. Pekerja mengenakan jam tangan pintar di tangan yang memegang sumber getaran, dan data ditransmisikan ke *smartphone* terdekat menggunakan koneksi Bluetooth. Telepon pintar tersebut menjadi *host* aplikasi khusus yang mengumpulkan data getaran. Data yang dikumpulkan kemudian dapat ditransfer ke komputer untuk analisis dan pelaporan lebih lanjut.

Data yang dikumpulkan dari jam tangan pintar adalah data akselerometer tri-aksial, yaitu arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Besarnya percepatan kemudian dihitung menggunakan Persamaan (1) dan dinormalisasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ (Minh et al., 2021).

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1)$$

dimana:

A = percepatan terukur (m/s^2)

A_x = percepatan terukur di arah sumbu-x (m/s^2)

A_y = percepatan terukur di arah sumbu-y (m/s^2)

A_z = percepatan terukur di arah sumbu-z (m/s^2)

Lebih lanjut, tinjauan literatur yang relevan dilakukan untuk mengidentifikasi potensi keuntungan dan kerugian dari penggunaan jam tangan pintar komersial untuk penilaian paparan getaran, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya, skalabilitas, dan integrasi dengan kerangka kerja manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang ada. Hasil studi ini memberikan wawasan tentang kelayakan penggunaan jam tangan pintar komersial untuk pemantauan paparan getaran di industri pembuatan kapal, dengan implikasi untuk meningkatkan upaya pencegahan risiko kerja di wilayah berkembang dengan akses terbatas ke peralatan pengukuran getaran khusus.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil pengujian pengukuran getaran tangan lengan

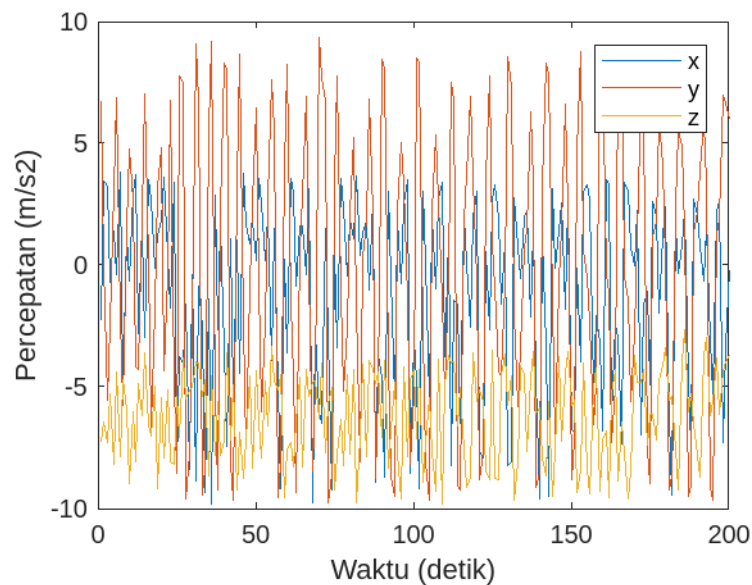
Sebagian besar jam tangan pintar berfokus pada pemantauan metrik kesehatan umum seperti detak jantung, langkah, dan pola tidur, daripada pengukuran khusus seperti paparan getaran (Sigcha et al., 2018). Jam tangan pintar yang dapat mengukur getaran tangan-lengan secara langsung adalah jam tangan pintar R-Link buatan Reactec. Perangkat ini dirancang untuk menilai dan mengelola risiko getaran tangan-lengan atau *Hand-arm vibration* (HAV) secara lebih efektif dengan menghitung dan menampilkan titik paparan risiko HAV secara real-time. Perangkat ini menggunakan besaran getaran alat yang telah ditentukan sebelumnya dan besaran getaran real-time yang dirasakan oleh pemakainya di pergelangan tangan, menyediakan tampilan ambang batas paparan yang dipersonalisasi dan peringatan multi-haptik untuk memberi tahu pemakainya tentang tingkat paparan mereka (Reactec Ltd, 2024). Namun, produk ini tidak tersedia secara komersial di pasar Indonesia.

Penelitian ini mengevaluasi tiga model jam tangan pintar yang tersedia secara komersial di pasar Indonesia. Tabel 1 menyajikan nama produk, sistem operasi, dan kemampuan pengukuran getaran. Dari ketiga model tersebut, perangkat Samsung dan Fitbit mampu mengukur getaran tangan-lengan. Namun, pengguna harus memasang aplikasi khusus pada jam tangan pintar dan telepon pintar untuk mengaktifkan fungsi pengukuran getaran. Jam tangan pintar Samsung, yang menjalankan Android Wear OS 4, ditemukan lebih unggul daripada perangkat Fitbit karena kemampuan penyesuaiannya yang lebih besar dan ketersediaan lebih banyak aplikasi yang dibuat pengembang untuk pengukuran getaran tangan-lengan. Sebaliknya, jam tangan pintar Redmi, yang menggunakan sistem operasi milik pabrikan, yang hanya diketahui oleh pengembang merek tersebut, tidak mendukung untuk digunakan dalam pengukuran getaran lengan.

Tabel 1 Perangkat jam tangan pintar yang dievaluasi

No	Perangkat	Sistem Operasi	Kemampuan untuk mengukur getaran tangan	Keterangan
1	Samsung Galaxy Watch 4	Android Wear OS 4	✓	Dengan aplikasi tambahan khusus
2	Fitbit Versa	Fitbit OS	✓	Dengan aplikasi tambahan khusus
3	Redmi Watch 3 Active	<i>Proprietary</i> OS	x	Sistem operasi tidak mendukung aplikasi tambahan

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, Samsung Galaxy Watch 4 dikombinasikan dengan aplikasi khusus yang disediakan oleh Geospatial Technologies Research Group (Matey, 2024) diadaptasi untuk mengukur getaran tangan-lengan. Jam tangan pintar yang dipilih dapat melakukan pengukuran getaran tangan-lengan. Terdapat 10 pengukuran dengan masing-masing 200 data sampel. Gambar 3 menunjukkan salah satu data getaran yang direkam oleh jam tangan pintar saat tangan pekerja memegang gergaji tangan listrik. Sementara Tabel 2 memberikan hasil pengukuran yang dikumpulkan dari jam tangan pintar selama penggunaan gergaji tangan elektrik.



Gambar 3 Hasil pengukuran getaran tangan-lengan menggunakan jam tangan pintar

Tabel 2 Hasil percobaan pengukuran getaran tangan-lengan

Pengukuran ke-	Percepatan (m/s^2)
1	9,315269
2	9,563713
3	9,561372
4	10,02423
5	10,4344
6	10,38628
7	10,5737
8	10,62405
9	10,44997
10	10,10691

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi jam tangan pintar tersebut mampu menangkap data percepatan triaksial dari akselerometer MEMS bawaan. Besarnya percepatan menurut Persamaan (1), yang merupakan salah satu parameter utama untuk penilaian getaran tangan-lengan, kemudian dapat dihitung. Dari 10 kali pengukuran, diperoleh amplitudo sebesar $20,98 m/s^2$, rata-rata $10,11 m/s^2$, dan deviasi standar $4,68\%$. Hasil tersebut menunjukkan penerapan jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran yang baik, yang menunjukkan potensi penggunaannya dalam program pencegahan risiko kerja, terutama di wilayah dengan akses terbatas ke perangkat pengukuran getaran khusus. Hasil ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa sistem wearable, termasuk jam

tangan pintar, dapat terus memantau paparan HAV dan menyediakan transmisi data dan peringatan secara real-time, sehingga meningkatkan keselamatan pekerja dan kepatuhan terhadap peraturan (Addabbo *et al.*, 2019; Sigcha *et al.*, 2018). Jam tangan pintar dapat mengukur HAV secara efektif tanpa memerlukan modifikasi pada perangkat atau lingkungan, sehingga praktis untuk aplikasi di dunia nyata (Laput *et al.*, 2016; Sigcha *et al.*, 2018).

Hasil studi menunjukkan potensi jam tangan pintar untuk digunakan sebagai alat yang hemat biaya dan mudah diakses untuk pemantauan paparan getaran, khususnya di wilayah berkembang dengan akses terbatas ke peralatan pengukuran khusus. Hal ini dapat berkontribusi pada program pencegahan risiko pekerjaan yang lebih kuat, yang memungkinkan identifikasi dan pengelolaan bahaya getaran tangan-lengan yang lebih baik dalam industri seperti pembuatan kapal. Namun, harus diakui juga bahwa akurasi dan presisi pengukuran getaran berbasis jam tangan pintar mungkin tidak setara dengan perangkat pengukuran getaran khusus, yang dapat menjadi perhatian untuk tujuan kepatuhan peraturan dan kompensasi pekerja. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan ini dan sepenuhnya membuka potensi jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran yang andal dan tervalidasi (Sigcha *et al.*, 2018).

4.2 Tantangan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran

Meskipun jam tangan pintar menawarkan beberapa keuntungan, ada juga tantangan yang perlu diatasi saat menggunakannya untuk pemantauan getaran:

1. Akurasi dan Presisi: Jam tangan pintar mungkin tidak memberikan tingkat akurasi dan presisi yang sama seperti perangkat pengukur getaran khusus. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan akselerometer internal dan potensi gangguan lingkungan (Sigcha *et al.*, 2018);
2. Kalibrasi dan Penyesuaian: Memastikan akselerometer jam tangan pintar dikalibrasi dan disesuaikan dengan benar sangatlah penting. Hal ini melibatkan penghitungan faktor-faktor seperti suhu, kelembapan, dan variasi medan magnet, serta resolusi meter yang terbatas (Sigcha *et al.*, 2018);
3. Variasi Laju Pengambilan Sampel: Laju pengambilan sampel jam tangan pintar dapat menimbulkan kesalahan dari tremor anggota badan, yang memengaruhi keakuratan pengukuran getaran. Hal ini memerlukan pertimbangan dan koreksi yang cermat selama proses kalibrasi (Sigcha *et al.*, 2018);
4. Efek Lingkungan: Jam tangan pintar rentan terhadap faktor lingkungan seperti perubahan suhu dan kelembapan, yang dapat memengaruhi keakuratan pengukuran getaran. Selain itu, variasi medan magnet alat getar juga dapat memengaruhi hasil pembacaan (Sigcha *et al.*, 2018);
5. Biaya dan Keandalan: Meskipun jam tangan pintar hemat biaya, keandalannya dalam pemantauan getaran berkelanjutan menjadi perhatian. Jam tangan pintar mungkin tidak sehandal peralatan khusus, yang dapat menyebabkan hilangnya data atau ketidakakuratan seiring berjalannya waktu (Sigcha *et al.*, 2018);
6. Pelatihan dan Kepatuhan Pengguna: Memastikan bahwa pekerja menggunakan jam tangan pintar dengan benar dan konsisten merupakan suatu tantangan. Ini termasuk mendidik mereka tentang penggunaan perangkat yang tepat dan pentingnya pengumpulan data yang akurat (Ramezani *et al.*, 2023);
7. Integrasi dengan Sistem yang Ada: Jam tangan pintar perlu terintegrasi secara mulus dengan sistem K3 yang ada untuk menyediakan pemantauan yang komprehensif. Ini

termasuk kompatibilitas dengan perangkat yang dapat dikenakan dan sistem perangkat lunak lainnya (Hosseini *et al.*, 2023);

8. Interpretasi dan Validasi Data: Keakuratan dan keandalan algoritma yang digunakan dalam jam tangan pintar untuk pemantauan getaran sangatlah penting. Terdapat diskusi yang sedang berjalan tentang keandalan diagnosis jam tangan pintar, yang menekankan perlunya akurasi tinggi dalam mendeteksi perubahan status kesehatan (Hosseini *et al.*, 2023).

Mengatasi tantangan yang terkait dengan penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran, seperti akurasi, kalibrasi, dampak lingkungan, dan integrasi dengan sistem yang ada, sangat penting untuk memastikan penggunaannya yang efektif dalam penerapan K3 di tempat kerja. Mengatasi keterbatasan ini akan membantu membuka potensi penuh jam tangan pintar sebagai alat yang andal, hemat biaya, dan mudah digunakan untuk penilaian dan pengelolaan paparan getaran berkelanjutan, yang pada akhirnya meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan pekerja. Lebih jauh lagi, kemajuan terkini dalam teknologi sensor dan analisis data telah menjelaskan perlunya mengatasi rintangan ini untuk sepenuhnya memanfaatkan kemampuan perangkat yang dapat dikenakan dalam aplikasi pemantauan kesehatan, memastikan bahwa perangkat tersebut memenuhi standar pengguna dan peraturan untuk akurasi dan keandalan.

4.3 Peluang penggunaan jam tangan pintar untuk pemantauan getaran

Jam tangan pintar menawarkan berbagai peluang untuk meningkatkan pemantauan getaran, khususnya dalam penerapan K3 di tempat kerja. Berikut adalah beberapa keuntungan utama yang menjadikannya alat yang menjanjikan untuk aplikasi ini:

1. Pemantauan *Real-Time*: Jam tangan pintar dapat terus memantau paparan getaran secara *real-time*, memberikan umpan balik langsung kepada pekerja. Hal ini penting untuk mencegah sindrom HAVS dan masalah kesehatan kerja lainnya (Zeng *et al.*, 2021);
2. Hemat Biaya: Memanfaatkan jam tangan pintar untuk memantau getaran lebih hemat biaya daripada metode tradisional, yang sering kali memerlukan peralatan mahal. Hal ini menjadikannya solusi yang lebih mudah diakses untuk banyak tempat kerja (Zeng *et al.*, 2021);
3. Kemudahan Penggunaan: Jam tangan pintar mudah digunakan, sehingga hanya memerlukan sedikit pelatihan bagi pekerja. Kemudahan penggunaan ini memastikan bahwa proses pemantauan tidak memberatkan, sehingga mendorong penggunaan yang konsisten dan pengumpulan data yang akurat (Zeng *et al.*, 2021);
4. Integrasi dengan Teknologi yang Ada: Jam tangan pintar dapat terintegrasi dengan sistem pelacakan kebugaran yang ada, memanfaatkan teknologi yang sama untuk menghitung durasi paparan dan tingkat getaran tangan-lengan. Kesamaan pendekatan ini mengurangi kebutuhan akan perangkat keras dan pelatihan tambahan (Zeng *et al.*, 2021);
5. Keselamatan yang Meningkat: Jam tangan pintar dapat memberi tahu pekerja saat mereka telah melampaui batas getaran yang aman, membantu mencegah masalah kesehatan jangka panjang. Selain itu, jam tangan pintar dapat memberi tahu pengawas

atau kontak darurat jika terjadi kecelakaan, meningkatkan keselamatan kerja secara keseluruhan di lokasi konstruksi (Nnaji *et al.*, 2021);

6. Pemantauan Kesehatan Komprehensif: Selain pemantauan getaran, jam tangan pintar dapat melacak indikator kesehatan lainnya seperti detak jantung, tingkat stres, dan aktivitas fisik. Pemantauan komprehensif ini membantu mengelola kesejahteraan pekerja secara lebih efektif (Nnaji *et al.*, 2021).

Peluang-peluang ini menyoroti potensi jam tangan pintar untuk merevolusi K3 dengan menyediakan solusi pemantauan getaran yang terus-menerus, akurat, dan mudah digunakan. Jam tangan pintar dapat memungkinkan pemantauan getaran secara *real-time*, hemat biaya, dan mudah diakses, memberdayakan pekerja dan pengusaha untuk secara proaktif mengelola paparan dan mencegah masalah kesehatan jangka panjang seperti sindrom getaran tangan-lengan. Integrasi jam tangan pintar dengan teknologi yang ada dan kemampuannya untuk menyediakan pemantauan kesehatan yang komprehensif semakin meningkatkan nilainya sebagai alat serbaguna untuk keselamatan dan kesejahteraan kerja.

5. Kesimpulan

Studi ini mengeksplorasi potensi penggunaan jam tangan pintar komersial, seperti Samsung Galaxy Watch 4, untuk mengukur getaran tangan-lengan dalam lingkungan kerja. Meskipun jam tangan pintar menawarkan keuntungan seperti efektivitas biaya dan kemudahan penggunaan, implementasi aktualnya menunjukkan keterbatasan dalam akurasi, penanganan data, dan penerapan di dunia nyata, yang saat ini membatasi kegunaannya dalam konteks kesehatan kerja. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan ini dan sepenuhnya membuka potensi jam tangan pintar sebagai alat penilaian paparan getaran. Untuk tujuan ini, studi mendatang harus berfokus pada peningkatan presisi dan keandalan sensor jam tangan pintar, pengembangan algoritma canggih untuk interpretasi data yang akurat, dan memastikan integrasi yang lancar dengan sistem keselamatan dan kesehatan kerja yang ada.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai oleh hibah dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Temuan penelitian menunjukkan bahwa pemahaman yang menyeluruh tentang kendala teknis dan potensi peningkatan sangat penting untuk mengoptimalkan efektivitas jam tangan pintar dalam aplikasi kesehatan kerja, sehingga memerlukan penelitian berkelanjutan dalam domain yang terus berkembang ini. Apresiasi juga diberikan kepada UJI - Kelompok Penelitian Teknologi Geospasial karena menyediakan aplikasi jam tangan pintar dan telepon pintar yang digunakan untuk pengukuran getaran.

Daftar Pustaka

- Addabbo, T., Fort, A., Landi, E., Moretti, R., Mugnaini, M., Parri, L., & Vignoli, V. (2019). A wearable Low-cost Measurement System for Estimation of Human Exposure to Vibrations. *2019 IEEE 5th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, 442–446. <https://doi.org/10.1109/RTSI.2019.8895535>
- Ainsa, I., Gonzalez, D., Lizaranzu, M., & Bernad, C. (2011). Experimental evaluation of uncertainty in hand–arm vibration measurements. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *41*(2), 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.002>

- Awolusi, I., Marks, E., & Hallowell, M. (2018). Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. *Automation in Construction*, 85, 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.010>
- Clemm, T., Nordby, K.-C., Lunde, L.-K., Ulvestad, B., & Bråtveit, M. (2021). Hand-Arm Vibration Exposure in Rock Drill Workers: A Comparison between Measurements with Hand-Attached and Tool-Attached Accelerometers. *Annals of Work Exposures and Health*, 65(9), 1123–1132. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxab051>
- Dong, R., Wu, J., Xu, X., Welcome, D., & Krajnak, K. (2021). A Review of Hand–Arm Vibration Studies Conducted by US NIOSH since 2000. *Vibration*, 4(2), 482–528. <https://doi.org/10.3390/vibration4020030>
- Edwards, D. J., Martek, I., Ejohwomu, O., Aigbavboa, C., & Hosseini, M. R. (2021). Hand-arm vibration management: an operational health and safety strategy framework. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(5), 811–830. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2020-0079>
- Forsell, K., Eriksson, H., Järholm, B., Lundh, M., Andersson, E., & Nilsson, R. (2017). Work environment and safety climate in the Swedish merchant fleet. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(2), 161–168. <https://doi.org/10.1007/s00420-016-1180-0>
- Hosseini, M. M., Hosseini, S. T. M., Karim, Q., Shahriar, H., & Tabar, S. S. S. (2023). Smartwatches in healthcare medicine: assistance and monitoring; a scoping review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23(1), 248. <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02350-w>
- Jang, J.-Y., Kim, S., Park, S. K., Roh, J., Lee, T.-Y., & Youn, J. T. (2002). Quantitative Exposure Assessment for Shipyard Workers Exposed to Hand-Transmitted Vibration From a Variety of Vibration Tools. *AIHA Journal*, 63(3), 305–310. <https://doi.org/10.1080/15428110208984718>
- Krajnak, K. (2018). Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 21(5), 320–334. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
- Laput, G., & Harrison, C. (2019). Sensing Fine-Grained Hand Activity with Smartwatches. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300568>
- Laput, G., Xiao, R., & Harrison, C. (2016). ViBand. *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, 321–333. <https://doi.org/10.1145/2984511.2984582>
- Matey, M. (2024, February 6). *WearOS Sensors*. <https://github.com/GeoTecINIT>. <https://github.com/GeoTecINIT/WearOSSensors>
- Minh, N. C., Dao, T. H., Tran, D. N., Huy, N. Q., Thu, N. T., & Tran, D. T. (2021). Evaluation of Smartphone and Smartwatch Accelerometer Data in Activity Classification. *2021 8th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS)*, 33–38. <https://doi.org/10.1109/NICS54270.2021.9701528>
- Nnaji, C., Awolusi, I., Park, J., & Albert, A. (2021). Wearable Sensing Devices: Towards the Development of a Personalized System for Construction Safety and Health Risk Mitigation. *Sensors*, 21(3), 682. <https://doi.org/10.3390/s21030682>
- Oh, J. (2022). Evaluation of hand-arm vibration (HAV) exposure levels among grounds maintenance workers: An observational human exposure measurement study. *Health Science Reports*, 5(4). <https://doi.org/10.1002/hsr2.731>
- Oh, J., Chen, N., & Boyd, C. (2023). Laboratory evaluation of occupational exposure to hand-arm vibration (HAV) during grounds maintenance equipment operations. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 30(2), 384–389. <https://doi.org/10.26444/aaem/162719>
- Pitts, P., & Brereton, P. (2016). The Development and Use of Tools to Support Workplace Hand-Arm Vibration Exposure Evaluation. *Acoustics Australia*, 44(1), 113–120. <https://doi.org/10.1007/s40857-016-0043-x>

- Praharsi, Y., Jami'in, M. A., Suhardjito, G., & Wee, H.-M. (2020). Modeling of an Industrial Ecosystem at Traditional Shipyards in Indonesia for the Sustainability of the Material Supply Chain. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309750>
- Prasasti, N. R., & Hermawanto, D. (2020). A Proposed Method to Find Exciter's Maximum Acceleration Magnitude on Vibration Meter Calibration System. *Instrumentasi*, *44*(2), 103. <https://doi.org/10.31153/instrumentasi.v44i2.206>
- Pribadi, T. W., & Shinoda, T. (2020). Hand Motion Recognition of Shipyard Welder Using 9-DOF Inertial Measurement Unit and Multi Layer Perceptron Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *557*(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/557/1/012009>
- Ramezani, R., Cao, M., Earthperson, A., & Naeim, A. (2023). Developing a Smartwatch-Based Healthcare Application: Notes to Consider. *Sensors*, *23*(15), 6652. <https://doi.org/10.3390/s23156652>
- Reactec Ltd. (2024). *Managing Workplace Hand-arm Vibration*. R-Link - HAVS. <https://www.reactec.com/products/r-link/havs/>
- Saeidnia, H., Esmaili, R., Babamiri, M., Pourtaghi, F., Hassanipour, S., & Pourtaghi, G. (2022). Effect of the level of manual performance disability caused by exposure to vibration among sailors working on sailing speed vessels. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *23*(1), 515. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05448-w>
- Safety and Health in Shipbuilding and Ship Repair, ILO Code of Practice (2019).
- Sekardhani, M., & Song, S. (2022). What Explains Smartwatch Adoption? A comparative study of South Korea and Indonesia. *Asia Marketing Journal*, *24*(2). <https://doi.org/10.53728/2765-6500.1590>
- Sigcha, L., Pavón, I., Arezes, P., Costa, N., De Arcas, G., & López, J. M. (2018). Occupational Risk Prevention through Smartwatches: Precision and Uncertainty Effects of the Built-In Accelerometer. *Sensors*, *18*(11), 3805. <https://doi.org/10.3390/s18113805>
- Zeng, Y., Wang, C., Chen, C.-C., Xiong, W.-P., Liu, Z., Huang, Y.-C., & Shen, C. (2021). Smart Device Monitoring System Based on Multi-type Inertial Sensor Machine Learning. *Sensors and Materials*, *33*(2), 693. <https://doi.org/10.18494/SAM.2021.3037>