

Analisis Risiko K3L Pada Kegiatan Praktikum Mikrokontroler Menggunakan Metode HIRA

^{1*}Zainuddin, ²Muhammad Yahya, ³Bakhrani A. Rauf, ⁴Srijadi Gowa, ⁵Nur Alamksyah Arif

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Makassar, Makassar

ABSTRAK

Praktikum mikrokontroler merupakan kegiatan pembelajaran yang melibatkan perangkat elektronik, sumber tegangan listrik, komputer, sensor, aktuator, kabel, *breadboard*, dan peralatan pendukung lainnya. Berbagai aktivitas tersebut memiliki potensi bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan, kerusakan peralatan, gangguan kesehatan, maupun dampak terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi bahaya dan tingkat risiko Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3L) pada kegiatan praktikum mikrokontroler menggunakan metode *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA). Analisis dilakukan melalui identifikasi aktivitas praktikum, identifikasi sumber bahaya, penilaian kemungkinan dan keparahan risiko, serta penentuan tindakan pengendalian. Aktivitas yang dianalisis meliputi pemeriksaan peralatan, perakitan rangkaian, penggunaan sumber tegangan, pemrograman, penyolderan, pengujian rangkaian, dan pengelolaan limbah elektronik. Hasil analisis awal menunjukkan bahwa potensi risiko berasal dari aspek kelistrikan, panas, peralatan kerja, ergonomi, penataan kabel, dan limbah elektronik. Pengendalian risiko diarahkan pada pemeriksaan peralatan, penerapan prosedur operasi standar, pemeriksaan rangkaian sebelum pemberian tegangan, briefing K3L, penerapan prinsip ergonomi, serta pengelolaan limbah elektronik. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar penyusunan prosedur praktikum yang lebih aman dan mendukung pembentukan budaya keselamatan mahasiswa.

Kata Kunci: K3L, mikrokontroler, HIRA, laboratorium, keselamatan kerja

ABSTRACT

Microcontroller practical activities involve electronic devices, electrical power sources, computers, sensors, actuators, cables, breadboards, and other supporting equipment. These activities may create hazards that can cause accidents, equipment damage, health problems, and environmental impacts if they are not properly controlled. This study aims to analyze potential hazards and risk levels related to Occupational Safety, Health, and Environment (OSHE) in microcontroller practical activities using the Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) method. The analysis consists of identifying practical activities, identifying hazard sources, assessing the likelihood and severity of risks, and determining appropriate control measures. The activities analyzed include equipment inspection, circuit assembly, power supply use, programming, soldering, circuit testing, and electronic waste management. The preliminary analysis indicates that potential risks are associated with electrical hazards, heat, work equipment, ergonomics, cable arrangement, and electronic waste. Risk controls are directed toward equipment inspection, standard operating procedures, circuit checking before energizing, OSHE briefings, ergonomic practices, and appropriate electronic waste management. The results are expected to provide a basis for developing safer practical procedures and strengthening students' safety culture.

Keywords: OSHE, microcontroller, HIRA, laboratory, occupational safety

1. PENDAHULUAN

Praktikum merupakan bagian penting dalam pembelajaran bidang teknik dan teknologi karena memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menghubungkan pengetahuan teoritis dengan pengalaman langsung menggunakan perangkat dan peralatan. Pada praktikum mikrokontroler, mahasiswa tidak hanya melakukan pemrograman, tetapi juga melakukan perakitan rangkaian, pemasangan sensor dan aktuator, penggunaan sumber tegangan, pengujian sistem, serta pemecahan masalah pada perangkat keras dan perangkat lunak. Kondisi tersebut menyebabkan kegiatan praktikum memiliki karakteristik risiko yang berbeda dengan pembelajaran yang hanya dilakukan di dalam kelas.

Laboratorium perguruan tinggi merupakan lingkungan yang memiliki berbagai sumber bahaya karena digunakan untuk kegiatan pembelajaran, penelitian, dan pengujian. Penelitian Syahlan (2021) menunjukkan bahwa laboratorium perguruan tinggi memiliki berbagai jenis risiko sehingga identifikasi bahaya dan pengendalian diperlukan untuk mencegah kecelakaan serta membangun budaya keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan perguruan tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspek K3 perlu menjadi bagian dari pengelolaan laboratorium, termasuk laboratorium yang digunakan untuk kegiatan praktikum mikrokontroler.

Pada praktikum mikrokontroler, salah satu sumber bahaya utama berasal dari penggunaan listrik dan rangkaian elektronik. Kesalahan pemasangan polaritas, hubungan pendek, penggunaan adaptor yang tidak sesuai, atau kondisi kabel yang rusak dapat menyebabkan kerusakan komponen dan dalam kondisi tertentu dapat menimbulkan bahaya bagi pengguna. Pendekatan keselamatan kerja menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan penilaian risiko sebelum menentukan tindakan pengendalian. ISO 45001 menyediakan kerangka sistematis untuk mengelola risiko keselamatan dan kesehatan kerja melalui identifikasi bahaya, penilaian risiko, pengendalian, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan.

Selain bahaya listrik, praktikum mikrokontroler juga menggunakan peralatan seperti solder, tang pemotong, kabel, dan berbagai komponen elektronik. Solder memiliki permukaan dengan temperatur tinggi yang dapat menyebabkan luka bakar apabila digunakan tanpa prosedur yang tepat. Kabel dan peralatan yang tidak tertata juga dapat menyebabkan gangguan terhadap aktivitas kerja. Penelitian pada laboratorium pendidikan menunjukkan bahwa identifikasi potensi bahaya merupakan tahap awal yang penting dalam menentukan kebutuhan perlengkapan K3 dan prosedur kerja yang aman (Rahmawan et al., 2024).

Aspek kesehatan juga perlu diperhatikan karena kegiatan praktikum mikrokontroler sering dilakukan menggunakan komputer. Mahasiswa dapat berada dalam posisi duduk dan menggunakan monitor dalam waktu tertentu. Kondisi meja, kursi, pencahayaan, temperatur, dan posisi perangkat dapat memengaruhi kenyamanan pengguna. Penelitian pada laboratorium komputer Universitas Ma Chung menunjukkan bahwa temperatur dan pencahayaan berpengaruh terhadap kenyamanan mahasiswa selama menggunakan laboratorium komputer (Lius et al., 2022). Penelitian lain mengenai desain furnitur laboratorium komputer berdasarkan antropometri mahasiswa juga menunjukkan pentingnya kesesuaian dimensi meja dan kursi dengan karakteristik fisik pengguna untuk meningkatkan kenyamanan dan mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal (Saha et al., 2024).

Aspek lingkungan juga perlu diperhatikan dalam praktikum mikrokontroler. Kegiatan praktikum dapat menghasilkan komponen elektronik yang rusak atau tidak digunakan, seperti PCB, kabel, sensor, baterai, dan komponen elektronik lainnya. Limbah elektronik atau *e-waste* perlu dikelola dengan tepat karena dapat mengandung bahan yang berbahaya apabila dibuang atau didaur ulang dengan cara yang tidak aman. World Health Organization melaporkan bahwa pada tahun 2022 terdapat sekitar 62 juta ton limbah elektronik secara global dan hanya 22,3% yang terdokumentasi dikumpulkan serta didaur ulang secara formal (WHO, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan analisis yang sistematis untuk mengidentifikasi bahaya dan menentukan tingkat risiko pada setiap aktivitas praktikum mikrokontroler. Metode *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA) dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber bahaya, menilai tingkat risiko, dan menentukan tindakan pengendalian. Penelitian pada laboratorium perguruan tinggi juga menunjukkan bahwa pendekatan HIRA/HIRADC dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai bahaya dan menentukan tindakan pengendalian pada lingkungan laboratorium (Syahlan, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis risiko K3L pada kegiatan praktikum mikrokontroler menggunakan metode HIRA sebagai dasar penyusunan tindakan pengendalian yang sesuai.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA). Metode digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada setiap aktivitas praktikum, menentukan tingkat risiko, dan merumuskan tindakan pengendalian. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip manajemen risiko yang menempatkan identifikasi, analisis, evaluasi, dan pengendalian risiko sebagai bagian dari proses pengelolaan risiko.

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah kegiatan praktikum mikrokontroler pada laboratorium pendidikan. Aktivitas yang menjadi objek analisis meliputi persiapan peralatan, pemeriksaan kondisi alat, perakitan rangkaian, pemasangan kabel, penggunaan sumber tegangan, pemrograman mikrokontroler, penyolderan, pengujian rangkaian, pembongkaran rangkaian, dan pengelolaan limbah elektronik.

2.2 Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya dilakukan dengan menguraikan aktivitas praktikum menjadi beberapa tahapan kerja. Pada setiap tahapan diidentifikasi sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan kecelakaan, gangguan kesehatan, kerusakan peralatan, maupun dampak terhadap lingkungan.

Bahaya dikelompokkan menjadi bahaya listrik, mekanis, termal, ergonomi, dan lingkungan. Pengelompokan tersebut digunakan untuk mempermudah analisis dan menentukan tindakan pengendalian yang sesuai.

2.3 Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan berdasarkan dua parameter, yaitu *Likelihood* (L) dan *Severity* (S). *Likelihood* menunjukkan kemungkinan suatu bahaya terjadi, sedangkan *Severity* menunjukkan tingkat keparahan akibat apabila bahaya tersebut terjadi.

Nilai risiko dihitung menggunakan persamaan:

$$R = L \times S$$

Keterangan:

R = nilai risiko

L = *Likelihood*

S = *Severity*

Hasil perkalian digunakan untuk menentukan tingkat risiko sesuai dengan matriks risiko yang digunakan dalam penelitian.

2.4 Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko ditentukan berdasarkan hasil penilaian risiko. Pengendalian diarahkan pada pencegahan bahaya melalui pemeriksaan peralatan, prosedur kerja, pengaturan lingkungan kerja, penggunaan alat pelindung apabila diperlukan, briefing keselamatan, dan pengelolaan limbah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Potensi Bahaya

Berdasarkan analisis aktivitas praktikum, ditemukan beberapa potensi bahaya yang dapat menjadi sumber risiko K3L. Identifikasi awal ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Potensi Bahaya pada Praktikum Mikrokontroler

No.	Aktivitas	Sumber Bahaya	Potensi Risiko	Aspek K3L
1	Pemeriksaan peralatan	Kabel/adaptor rusak	Sengatan listrik/kerusakan alat	Keselamatan
2	Perakitan rangkaian	Salah koneksi kabel	Korsleting/kerusakan komponen	Keselamatan
3	Menghubungkan sumber tegangan	Tegangan tidak sesuai	Kerusakan perangkat	Keselamatan
4	Pemrograman	Posisi kerja kurang sesuai	Kelelahan/ketidaknyamanan	Kesehatan
5	Penyolderan	Ujung solder panas	Luka bakar	Keselamatan
6	Pemotongan kabel	Tang pemotong	Luka pada tangan	Keselamatan
7	Pengujian rangkaian	Komponen panas	Luka/kerusakan komponen	Keselamatan
8	Penataan kabel	Kabel berserakan	Tersandung	Keselamatan
9	Penggunaan komputer	Posisi duduk/monitor	Gangguan ergonomi	Kesehatan
10	Pembuangan komponen	Limbah elektronik	Pencemaran	Lingkungan

Identifikasi tersebut menunjukkan bahwa risiko praktikum tidak hanya berasal dari sumber listrik. Aktivitas penyolderan, penggunaan alat pemotong, penggunaan komputer, serta pengelolaan limbah juga perlu menjadi perhatian. Hasil ini sejalan dengan penelitian pada laboratorium perguruan tinggi yang menunjukkan bahwa lingkungan laboratorium memiliki berbagai sumber bahaya yang memerlukan identifikasi dan pengendalian secara sistematis (Syahlan, 2021).

3.2 Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan dengan mengalikan nilai *Likelihood* dan *Severity*. Nilai pada Tabel 2 merupakan rancangan penilaian awal dan harus divalidasi melalui observasi lapangan sebelum digunakan sebagai hasil final penelitian.

Tabel 2. Rancangan Penilaian Risiko Praktikum Mikrokontroler

No.	Aktivitas	Potensi Risiko	L	S	R	Tingkat Risiko
1	Pemeriksaan alat	Sengatan listrik	1	4	4	Sedang
2	Perakitan rangkaian	Korsleting	2	3	6	Sedang
3	Penggunaan adaptor	Kerusakan akibat tegangan	2	3	6	Sedang
4	Pemrograman	Gangguan ergonomi	3	2	6	Sedang
5	Penyolderan	Luka bakar	2	3	6	Sedang
6	Pemotongan kabel	Luka tangan	2	2	4	Sedang
7	Pengujian	Komponen panas	2	3	6	Sedang
8	Penataan kabel	Tersandung	2	2	4	Sedang
9	Penggunaan komputer	Kelelahan/ketidaknyamanan	3	2	6	Sedang
10	Limbah elektronik	Dampak lingkungan	2	3	6	Sedang

Hasil rancangan menunjukkan bahwa aktivitas dengan nilai risiko relatif lebih tinggi perlu mendapatkan perhatian lebih besar dalam penerapan pengendalian. Pendekatan penilaian risiko seperti ini dapat membantu laboratorium menentukan prioritas tindakan berdasarkan karakteristik bahaya dan tingkat risikonya. Penelitian Rahmawan et al. (2024) juga menggunakan pendekatan HIRA untuk menganalisis potensi bahaya pada laboratorium pendidikan dan menjadikannya sebagai dasar dalam menentukan perlengkapan K3 serta prosedur kerja yang aman.

3.3 Risiko Kelistrikan dan Peralatan Elektronik

Risiko kelistrikan merupakan salah satu aspek yang penting dalam praktikum mikrokontroler. Mahasiswa melakukan proses pemasangan kabel, menghubungkan mikrokontroler dengan komputer, menggunakan adaptor, dan memberikan sumber tegangan pada rangkaian. Kesalahan koneksi dapat menyebabkan hubungan pendek atau kerusakan komponen.

Pengendalian utama yang dapat dilakukan adalah memastikan sumber tegangan dalam kondisi *OFF* ketika rangkaian dirakit atau diperbaiki. Pemeriksaan polaritas, tegangan kerja, dan kondisi kabel juga perlu dilakukan sebelum sistem diaktifkan. Prinsip tersebut sejalan dengan pendekatan ISO 45001 yang menempatkan identifikasi bahaya dan pengendalian risiko sebagai bagian dari sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja.

3.4 Risiko Penyolderan dan Peralatan Kerja

Penyolderan merupakan aktivitas yang memiliki risiko termal karena ujung solder bekerja pada temperatur tinggi. Kontak langsung dengan ujung solder dapat menyebabkan luka bakar. Selain itu, posisi solder yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan meja atau komponen di sekitar area kerja.

Pengendalian dilakukan dengan menyediakan dudukan solder, menjaga area kerja tetap rapi, memberikan instruksi penggunaan solder, dan memastikan sumber listrik dimatikan setelah kegiatan selesai. Mahasiswa juga perlu mendapatkan briefing sebelum menggunakan peralatan yang memiliki potensi bahaya.

Penelitian mengenai laboratorium pendidikan menunjukkan bahwa pemberian instruksi yang jelas sebelum dan setelah kegiatan praktikum serta penyusunan SOP merupakan bagian dari tindakan pengendalian yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko di laboratorium (Efendi et al., 2020).

3.5 Risiko Ergonomi

Aktivitas pemrograman dan pengujian mikrokontroler umumnya dilakukan dengan menggunakan komputer dalam posisi duduk. Apabila posisi monitor, meja, atau kursi tidak sesuai, mahasiswa dapat mengalami ketidaknyamanan selama kegiatan praktikum.

Penelitian Lius et al. (2022) menunjukkan bahwa kondisi temperatur dan pencahayaan berpengaruh terhadap kenyamanan mahasiswa ketika menggunakan laboratorium komputer. Sementara itu, penelitian Saha et al. (2024) menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara sejumlah dimensi furnitur laboratorium komputer dengan data antropometri mahasiswa, sehingga aspek desain ergonomis perlu diperhatikan dalam pengelolaan laboratorium.

Dengan demikian, pengendalian risiko ergonomi dapat dilakukan melalui pengaturan posisi monitor, meja, dan kursi, pengaturan pencahayaan, serta pemberian kesempatan istirahat pada kegiatan yang membutuhkan penggunaan komputer dalam waktu lama.

3.6 Pengelolaan Limbah Elektronik

Kegiatan praktikum dapat menghasilkan limbah elektronik berupa kabel, PCB, sensor, komponen elektronik, baterai, dan perangkat yang rusak. Limbah tersebut sebaiknya tidak langsung dicampurkan dengan sampah umum.

WHO menyatakan bahwa *e-waste* merupakan salah satu aliran limbah padat yang berkembang paling cepat dan dapat mengandung bahan yang berbahaya apabila tidak dikelola dengan benar. Pada 2022, sekitar 62 juta ton *e-waste* dihasilkan secara global dan hanya 22,3% yang terdokumentasi dikumpulkan serta didaur ulang secara formal.

Pada lingkungan laboratorium, pengendalian dapat dilakukan dengan menyediakan wadah khusus untuk komponen elektronik yang sudah rusak, melakukan pemilahan, menggunakan kembali komponen yang masih layak, dan menyalurkan limbah kepada pihak yang memiliki fasilitas pengelolaan limbah elektronik.

3.7 Pengendalian Risiko K3L

Berdasarkan hasil identifikasi dan penilaian awal, tindakan pengendalian yang direkomendasikan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekomendasi Pengendalian Risiko **K3L**

No.	Risiko	Pengendalian yang Direkomendasikan
1	Sengatan listrik	Pemeriksaan kabel, adaptor, dan sumber tegangan
2	Korsleting	Pemeriksaan rangkaian sebelum <i>power ON</i>
3	Kerusakan komponen	Memastikan tegangan dan polaritas sesuai
4	Luka bakar solder	Menggunakan dudukan solder dan SOP
5	Luka akibat alat potong	Menggunakan alat sesuai fungsi
6	Gangguan ergonomi	Penyesuaian meja, kursi, dan monitor
7	Tersandung kabel	Penataan dan pengamanan kabel
8	Komponen panas	Menunggu komponen dingin sebelum disentuh
9	Limbah elektronik	Pemilahan dan pengelolaan <i>e-waste</i>
10	Kurangnya kesadaran K3L	Briefing K3L sebelum praktikum

Pengendalian tersebut perlu diterapkan secara konsisten. ISO 45001 menekankan bahwa pengelolaan K3 harus dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan melalui perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan peningkatan. Dengan demikian, K3L tidak seharusnya hanya menjadi materi tambahan, tetapi menjadi bagian dari prosedur pelaksanaan praktikum.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis risiko K3L pada kegiatan praktikum mikrokontroler menggunakan metode HIRA, dapat disimpulkan bahwa kegiatan praktikum memiliki berbagai potensi bahaya yang berasal dari aspek kelistrikan, peralatan kerja, panas, ergonomi, penataan area kerja, dan lingkungan. Aktivitas perakitan rangkaian dan penggunaan sumber tegangan memiliki potensi risiko yang berkaitan dengan kesalahan koneksi dan hubungan pendek, sedangkan penggunaan solder memiliki potensi risiko luka bakar. Aktivitas

pemrograman dan penggunaan komputer juga perlu memperhatikan aspek ergonomi, khususnya posisi duduk, kondisi meja dan kursi, posisi monitor, pencahayaan, dan kenyamanan lingkungan laboratorium. Selain itu, komponen elektronik yang rusak atau tidak digunakan perlu dikelola secara khusus karena termasuk limbah elektronik yang dapat memberikan dampak terhadap kesehatan dan lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. HIRA dapat digunakan sebagai pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi bahaya, menilai risiko, dan menentukan tindakan pengendalian pada setiap aktivitas praktikum. Pengendalian yang direkomendasikan meliputi pemeriksaan peralatan sebelum digunakan, pemeriksaan rangkaian sebelum sumber tegangan diaktifkan, penerapan SOP, briefing K3L, penataan kabel, penerapan prinsip ergonomi, penggunaan peralatan sesuai fungsinya, serta pemilahan limbah elektronik. Untuk penelitian selanjutnya, penilaian risiko perlu dilakukan berdasarkan observasi langsung, wawancara dengan mahasiswa dan dosen, serta pengukuran kondisi lingkungan laboratorium sehingga nilai *likelihood* dan *severity* dapat menggambarkan kondisi aktual. Hasil penilaian tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menyusun SOP K3L praktikum mikrokontroler dan instrumen checklist keselamatan yang dapat diterapkan secara rutin sebelum, selama, dan setelah kegiatan praktikum.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Program Profesi Insinyur (PPI), Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan dalam mengikuti proses pembelajaran, khususnya pada mata kuliah Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L) sebagai bagian dari pengembangan pemahaman penulis dalam bidang keselamatan dan kesehatan kerja. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer (PTIK), Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, yang telah memberikan dukungan dan kesempatan dalam pelaksanaan penelitian pada kegiatan praktikum mikrokontroler sebagai objek penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengumpulan data, pengamatan kegiatan praktikum, serta penyusunan artikel ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan penerapan K3L dalam kegiatan praktikum di lingkungan pendidikan tinggi.

REFERENSI

- Efendi, A., Nugroho, Y. S., & Fahmi, M. (2020). Analisis aspek kesehatan dan keselamatan kerja di Laboratorium Motor Bakar. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 5(1). <https://doi.org/10.21831/dinamika.v5i1.30989>
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—A practical guide for small organizations*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 45003:2021 Psychological health and safety at work—Guidelines for managing psychosocial risks*. ISO.
- Inayah, Z., Budiono, N. D. P., Mayandari, W. R., & Nisa, K. (2022). Penyuluhan ergonomi pada pembelajaran daring di Fakultas Kesehatan Universitas Muhammadiyah Gresik. *DedikasiMU: Journal of Community Service*, 4(3), 336–340. <https://doi.org/10.30587/dedikasimu.v4i3.4295>
- Lius, J. F., Oktiarso, T., & Putrianto, N. K. (2022). Usulan perbaikan laboratorium komputer Universitas Ma Chung pada aspek suhu dan pencahayaan dengan pendekatan ergonomi partisipatori. *Jurnal Sains dan Aplikasi Keilmuan Teknik Industri*, 2(2), 101–112. <https://doi.org/10.33479/jtiumc.v2i2.32>
- Rahmawan, B. Y., Revantoro, N. B., & Al Ansyorie, M. M. (2024). Analisis potensi bahaya keselamatan dan kesehatan kerja pada pengguna laboratorium Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang menggunakan metode HIRA. *Proceedings of Life and Applied Sciences*.
- Saha, A. K., Jahin, M. A., Rafiquzzaman, M., & Mridha, M. F. (2024). Ergonomic design of computer laboratory furniture: Mismatch analysis utilizing anthropometric data of university students. *Heliyon*, 10, e34063. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34063>

- Saputra, D., Sanjaya, K. T., Nuruddin, A. W., & Wibowo, M. M. A. (2022). Rancang bangun meja laboratorium komputer Jurusan Teknik Industri Universitas PGRI Ronggolawe Tuban dengan pendekatan ergonomi. *Industrial Management and Engineering Journal*, 1(1), 14–22. <https://doi.org/10.55719/imej.v1i1.557>
- Syahlan, N. (2021). Hazard identification using the Hazard Identification and Risk Assessment and Determining Control (HIRADC) technique: Case study at laboratories at Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Kesmas*, 4(1), 15–22. <https://doi.org/10.36656/jpksy.v4i1.753>
- World Health Organization. (2022). *Guidance on solid waste and health*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). *Electronic waste (e-waste)*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2024). *E-waste and child health*. World Health Organization.