Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
6 (1) 2026, Page: 14184-14193

Efektifitas Perancangan Ergonomi sebagai Upaya Pengendalian Risiko Berbasis Human Machine Interface (HMI) pada Perusahaan Manufaktur di Gresik

Nafiatus Sintya Deviatin[1], Eska Distia Permatasari[1], Devy Syanindita Roshida[1]*, Suci Dwi Cahyani[1], Afifa Nur Maulidah[1], Anggun Novitria Ramadan[1]

[1] Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Gresik
Corresponding author: devysyanindita@unigres.ac.id

Published : Februari 2026

ABSTRAK

Latar belakang: Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan komponen penting dalam industri manufaktur yang memiliki tingkat risiko tinggi. Penerapan *hierarchy of control* diperlukan untuk memastikan pengendalian bahaya dilakukan secara efektif, namun di beberapa perusahaan di Kabupaten Gresik, kontrol tingkat tinggi seperti eliminasi, substitusi, dan rekayasa teknik masih belum optimal yang berakibat pada meningkatnya angka kecelakaan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *Human Machine Interface* (HMI) sebagai peluang peningkatan keselamatan melalui antarmuka yang lebih informatif, mudah dioperasikan, dan mendukung pemantauan mesin secara real-time. **Metode:** Penelitian ini merupakan studi deskriptif kualitatif dengan mengobservasi pekerja pada saat jam kerja efektif. Selanjutnya, wawancara dengan pihak perusahaan untuk mengetahui informasi yang lebih dalam terkait objek penelitian. **Hasil:** Hasil observasi menunjukkan bahwa proses produksi berbasis CNC masih menimbulkan berbagai risiko ergonomi, termasuk postur kerja tidak ideal, gerakan berulang, serta paparan kebisingan yang berdampak pada kesehatan dan produktivitas operator. Oleh karena itu, evaluasi ergonomi, penyediaan alat bantu kerja, peningkatan desain HMI, dan penilaian postur secara berkala menjadi langkah penting dalam pengendalian risiko. **Simpulan:** Integrasi antara prinsip ergonomi, teknologi HMI, dan *hierarchy of control* terbukti mampu meningkatkan keselamatan, efisiensi kerja, serta mendukung penerapan teknologi digital, sehingga menjadi strategi efektif dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman dan berkelanjutan di industri manufaktur.

Kata kunci: Ergonomi; hirarki pengendalian; interaksi manusia mesin; keselamatan dan kesehatan kerja; manufaktur.

ABSTRACT

Background: *Occupational safety and health (OSH) is an important component in the manufacturing industry, which has a high level of risk. The application of a hierarchy of controls is necessary to ensure that hazards are controlled effectively. However, in some companies in Gresik Regency, high-level controls such as elimination, substitution, and engineering controls are still not optimal, resulting in an increase in the number of workplace accidents. This study aims to design a Human Machine Interface (HMI) as an opportunity to improve safety through a more informative, easy-to-operate interface that supports real-time machine monitoring.* ***Method:*** *This research is a qualitative descriptive study that observes workers during effective working hours. Furthermore, interviews with the company are conducted to obtain more in-depth information related to the research object.* ***Result:*** *Observations show that CNC-based production processes still pose various ergonomic risks, including poor work posture, repetitive movements, and exposure to noise that affects the health and productivity of operators. Therefore, ergonomic evaluation, provision of work aids, improvement of HMI design, and periodic posture assessment are important steps in risk control.* ***Conclusion:*** *The integration of ergonomic principles, HMI technology, and hierarchy of control has been proven to improve safety and work efficiency, as well as support the implementation of digital technology, making it an effective strategy for creating a safe and sustainable work environment in the manufacturing industry.*

Keywords*: Ergonomics; hierarchy of control; human machine interface; manufacturing; occupational health and safety*

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kesehatan dan keselamatan kerja relevan dengan semua cabang industri, bisnis dan perdagangan termasuk industri tradisional, perusahaan teknologi informasi, layanan kesehatan Nasional, panti jompo, sekolah, universitas, fasilitas rekreasi dan kantor (1). Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam keberlangsungan industri, khususnya di sektor manufaktur yang dikenal memiliki tingkat risiko kecelakaan kerja yang tinggi. Aktivitas produksi di industri manufaktur melibatkan berbagai jenis mesin, bahan kimia berbahaya, potensi kebisingan, suhu ekstrem, serta tuntutan fisik dan mental terhadap pekerja. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengendalian risiko yang sistematis dan terstruktur untuk melindungi keselamatan tenaga kerja dan menjamin keberlangsungan proses industri (2).

Salah satu pendekatan yang telah terbukti efektif secara global dalam mengendalikan bahaya kerja adalah konsep *hierarchy of control*. Hirarki ini disusun berdasarkan urutan efektivitas pengendalian risiko, mulai dari yang paling efektif yaitu eliminasi bahaya, substitusi, rekayasa teknik (*engineering controls*), kontrol administratif, hingga penggunaan alat pelindung diri (APD) sebagai upaya terakhir. Prinsip dasar dari *hierarchy of control* adalah bahwa semakin tinggi posisi suatu kontrol dalam hirarki, semakin besar efektivitasnya dalam menghilangkan atau mengurangi risiko di tempat kerja (3).

Di berbagai negara, implementasi *hierarchy of control* telah menjadi acuan utama dalam merancang sistem manajemen keselamatan kerja yang proaktif dan preventif. Penelitian sebelumnya oleh Mangarru (2021) menunjukkan bahwa penerapan eliminasi dan substitusi bahaya sejak tahap perancangan (*design for safety*) mampu menurunkan angka kecelakaan hingga 60% dalam proyek konstruksi dan manufaktur. Namun, tantangan implementasi di negara berkembang masih cukup besar (4).

Di Indonesia, termasuk Kabupaten Gresik sebagai salah satu Kawasan industri utama di Jawa Timur, penerapan prinsip *hierarchy of control* masih belum optimal. Berdasarkan laporan Dinas Ketenagakerjaan Kabupaten Gresik, masih ada kasus kecelakaan kerja di sektor manufaktur. Terdapat perusahaan yang masih mengandalkan control administratif dan penggunaan APD sebagai pendekatan utama, sementara eliminasi dan substitusi bahaya jarang diprioritaskan (5). Minimnya penerapan kontrol tingkat tinggi seperti eliminasi atau rekayasa teknik bukan hanya disebabkan oleh keterbatasan sumber daya, namun juga kurangnya pemahaman manajemen tentang pentingnya pengendalian yang bersifat fundamental dan berkelanjutan.

Dengan kondisi saat ini bahwa banyak pekerjaan yang biasanya dilakukan oleh manusia sudah digantikan oleh mesin. Walaupun sebenarnya dalam pengoperasian mesin tersebut masih ada peran manusia didalamnya yang biasanya disebut HMI (*Human-Machine Interface*). HMI merupakan sistem yang menghubungkan antara manusia dan mesin. HMI yang berupa pengendalian dan visualisasi status komputer yang berdifat real-time. Tujuan digunakannya HMI adalah untuk meningkatlan interaksi antara operator dan mesin melalui tampilan di layar monitor. Selain itu pada HMI juga terdapat juga visualisasi pengendali mesin berupa *push button, input reference* dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengontrol atau mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Kegunaan lain dari HMI dapat menampilkan data-data rangkuman kerja mesin secara grafik dan juga alarm jika terjadi kondisi bahaya pada dalam mesin (6).

Implementasi konsep HMI dapat membantu memahami proses interaksi dan mengidentifikasi hal-hal yang dapat menyebabkan kegagalan dalam penerapan sistem serta menciptakan sebuah sistem interaktif berkualitas tinggi bersifat akrab dan ramah dengan penggunaanya (*user friendly*). Standar ini memungkinkan developer sistem untuk mengelola proses desain dengan memahami dan menciptakan teknologi yang selaras dengan peningkatan kemampuan manusia demi menjamin kualitas perangkat lunak (7). Proses interaksi manusia dengan komputer dapat mengalami kegagalan dan mempengaruhi perilaku pengguna untuk menerima atau mneolak sistem informasi apabila antarmuka dari sebuah sistem kurang familiar dan tidak mampu berkomunikasi dengan baik terhadap pengguna (8).

Oleh karena itu dalam membangun stasiun kerja sebaiknya didasari pada sebuah konsep perancangan yang memperhatikan aspek antarmuka manusia dan mesin (*Human Mechine Interface*) dan melalui pendekatan terhadap pengguna akhir.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini merupakan studi deskriptif kualitatif yang dilakukan di salah satu perusahaan manufaktur di Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pengumpulan data dilakukan dengan beberapa metode, pertama dilakukan observasi lapangan, yang mencakup pencatatan sistematis terhadap kejadian, perilaku, objek, serta aspek lain yang berkaitan dengan ergonomi yang ada di perusahaan tersebut. Pengumpulan data selanjutnya, dilakukan wawancara dengan pihak perusahaan untuk mengetahui dan mendapatkan informasi yang lebih dalam terkait objek penelitian.

Pengambilan data berlangsung pada bulan Juni-Agustus 2025. Subjek observasi penelitian ini adalah karyawan pada bagian desain produksi. Penelitian ini bertujuan evaluasi aspek ergonomi sebagai upaya pengendalian risiko yang diterapkan dalam desain mesin berbasis HMI untuk memastikan kenyamanan, keselamatan, dan efisiensi kerja operator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perusahaan manufaktur lokasi penelitian ini berdiri sejak tahun 1984, Perusahaan ini bergerak di bidang produksi plastik dan spesialisasi pembuatan lemari, piring, gayung, kursi, rak, hanger, boxfile dan produk lainnya yang menggunakan bahan utama plastik. Perusahaan tersebut selalu fokus dan berusaha memastikan kepuasan pelanggan atau konsumen agar sesuai dengan yang diharapkan dapat tercapai.

Pada penelitian ini memfokuskan topik terkait evaluasi aspek ergonomi sebagai upaya pengendalian risiko, berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, masih ditemui permasalahan ergonomi pada pencetakan yang ada didalam proses produksi. Proses produksi plastik ini memiliki beberapa tahapan yaitu:

1. Pembuatan desain;
2. Perencanaan bahan;
3. Pembuatan Baja untuk Cetakan (*Machining*);
4. Pengamplasan (pemolesan cetakan);
5. *Assembling* (perakitan);
6. Trial (percobaan produksi);
7. Produksi;
8. Pendistribusian.

Seluruh proses mendesain sampai membentuk benda jadi, pekerja menggunakan mesin CNC *(Computer Numeric Control)* yang dioperasikan dengan menggunakan kontrol komputer dan gerakan alat pemotong diatur dalam program NC. Kualitas bagian mesin tergantung pada pemilihan parameter pemotongan dan cara pemotongan. Oleh karena itu, untuk memfasilitasi parameter tersebut program NC yang sesuai harus disiapkan. Pengaturan program ini berisi daftar kode yang bisa dimengerti oleh pengontrol mesin CNC (9). Pemrograman NC adalah pekerjaan pada mesin yang monoton dan membutuhkan waktu, tetapi pekerjaan ini merupakan pekerjaan yang tidak dapat dihindari. Program NC yang kurang presisi atau salah dapat menyebabkan pemborosan bahan baku, memperpendek umur alat, membuang waktu produksi dan lain-lain (10).

Pembuatan cetakan produksi plastik melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu proses desain menggunakan *software* komputer, kemudian dilanjutkan pembuatan program untuk proses selanjutnya yang akan dilakukan di mesin CNC *milling.* Pembuatan desain untuk membuat cetakan dengan menggunakan *software mastercam*. Cetakan di desain dengan awal mulai dari desain kosong dengan ukuran sesuai dengan benda kerja yang akan digunakan. *Software mastercam* ini bisa menentukan tools yang akan digunakan beserta ukurannya. Pekerja juga mengatur kecepatan *spindle* dengan satuan rpm (rotasi per menit), *feed rate* yang dibutuhkan agar dapat selesai dengan waktu

dan hasil yang diharapkan sesuai dengan pengerjaan. Pengerjaan yang telah diselesaikan di *software Mastercam* akan di masukkan dalam program NC yang siap dijalankan oleh mesin CNC *milling*. Selanjutnya dilakukan proses pemilihan bahan sesuai dengan pengeluaran dan kebutuhan untuk pengerjaan cetakan dari satu cetakan lain yang siap digunakan.

Proses desain dan pembuatan program yang sudah dilakukan dengan menggunakan *software mastercam* hingga pemilihan bahan yang sudah siap digunakan. Ketika program sudah berhasil di *convert* ke memori mesin CNC *milling*, menempatkan bahan baku kerja yang sudah disiapkan ke ragum yang terpasang di meja mesin. Setelah benda kerja dipasangkan, perlu dilakukan *centering* terlebih dahulu dengan menggunakan *centering fix tool* agar diketahui titik X_0 dan Y_0 pada benda kerja yang akan diproses. Setelah semuanya sudah disiapkan maka dipasangkan dengan mata pahat yang telah ditentukan untuk memulai proses pembuatan barang yang ditentukan.

Saat proses pembuatan desain, terdapat risiko ergonomi yang timbul, diantaranya yaitu risiko ergonomi pada desainer seperti postur tubuh yang tidak ergonomis karena duduk terlalu lama, ketegangan mata. Risiko lainnya yaitu kesalahan desain yang berpotensi menyebabkan pekerjaan ulang atau ketidaksesuaian komponen yang dapat meningkatkan risiko paparan pada tahap berikutnya. Hingga risiko kehilangan data atau kesalahan versi dokumen dapat terjadi yang mana hal tersebut dapat mengarah pada produksi yang tidak sesuai spesifikasi.

Proses kedua yaitu perencanaan bahan yang meliputi pemilihan resin/*compound* yang tepat berdasarkan *grade*, aditif, dan warna. Penetapan pemasok, jumlah kebutuhan, *batch control*, serta bahan pendukung seperti masterbatch dan pelumas juga dilakukan. Aktivitas ini mencakup manajemen stok (FIFO/LIFO), pengaturan kondisi penyimpanan (suhu dan kelembaban), dan strategi *material handling*. Selain itu, parameter awal proses seperti temperatur barrel dan tekanan injeksi juga ditentukan.

Pada proses kedua dapat terjadi potensi risiko yaitu operator mesin dapat terpapar debu resin, uap bahan yang dipanaskan, atau tumpahan bahan kimia. Aktivitas *material handling* dapat berpotensi menimbulkan gangguan muskuloskeletal. Risiko kesalahan pemilihan material dapat menyebabkan terjadinya cacat produk dan memaksa penyesuaian mesin berulang. Serta beberapa jenis resin juga memiliki risiko kebakaran apabila tidak disimpan sesuai prosedur.

Proses pembuatan baja untuk cetakan plastik pada mesin CNC melibatkan beberapa risiko pada pekerja. Risiko ini dapat berupa cidera fisik akibat mesin, paparan zat kimia berbahaya, dan masalah ergonomi. Oleh karena itu penting untuk menerapkan langkah keselamatan yang tepat untuk meminimalkan risiko tersebut. Berikut adalah beberapa risiko yang terjadi pada pekerja selama proses pembuatan baja untuk cetakan pada mesin CNC yaitu risiko cedera dapat timbul akibat kontak dengan alat potong berputar, serpihan logam, atau percikan *coolant*. Operator mesin berisiko terpapar kebisingan, getaran, dan bahan kimia. Kemudian postur kerja yang kurang ideal, seperti memutar tubuh untuk mengakses panel, dapat menimbulkan risiko ergonomi.

Proses selanjutnya yaitu proses pengamplasan cetakan baja dari hasil mesin CNC. Proses ini merupakan proses *finishing* secara umum digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja yang telah dihasilkan dengan mesin CNC. Proses pengamplasan bertujuan untuk meningkatkan tampilan visual produk dengan menghilangkan bekas pemotongan dari alat atau ketidaksempurnaan lainnya yang mungkin muncul setelah proses permesinan dan memberikan hasil akhir yang lebih baik. Risiko masalah ergonomi pada tahapan pekerjaan ini yaitu terdapat posisi kerja yang tidak sesuai postur normal dalam waktu lama (postur kerja membungkuk). Risiko ini dapat menyebabkan nyeri pada tangan, leher, punggung dan kaki. Pada tahapan kerja ini juga menghasilkan kebisingan yang dapat menyebabkan gangguan pendengaran jika pekerja tidak menggunakan pelindung telinga. Selain itu, pekerja operator dapat terpapar debu logam halus, risiko tersangkut pada alat putar, getaran tangan-lengan, serta iritasi dari bahan pemoles.

Tahap selanjutnya yaitu proses *assembling* (perakitan) semua komponen cetakan baja dari hasil mesin CNC. Proses ini merupakan proses penggabungan atau penyambungan komponen hasil cetakan menjadi satu kesatuan yang utuh dan berfungsi. Proses ini melibatkan beberapa tahapan, mulai dari persiapan komponen, penyusunan komponen, pemasangan komponen, hingga

pengujian komponen. Perakitan komponen cetakan baja hasil dari mesin CNC memerlukan ketelitian dan pemahaman terhadap fungsi masing-masing bagian untuk memastikan mesin dan komponen dapat beroperasi dengan baik dan presisi sesuai yang diinginkan, kemudian memasuki proses *trial* (percobaan produksi). Terdapat beberapa potensi risiko yang dapat terjadi saat proses *assembling* diantaranya risiko cedera dari alat tangan dan postur kerja statis/yang berulang karena mengangkat panel besar. Selain itu, dapat terjadi potensi risiko kesalahan perakitan yang mengakibatkan rework berlebih, sehingga dampaknya menyebabkan penundaan pengiriman dan penurunan kualitas produk.

Proses keenam yaitu *trial* (percobaan produksi), tahap ini mencakup penyatuan komponen hasil molding melalui metode seperti *snap-fit*, sekrup, *ultrasonic welding*, dan pemasangan aksesori. Pada proses ini juga dilakukan pemeriksaan kualitas dilakukan untuk memastikan kekuatan sambungan. Pada fase ini, potensi risiko dapat meningkat karena mesin berjalan dengan pengaturan belum stabil. Kemudian pekerja operator akan lebih sering berinteraksi dengan mesin, sehingga dapat meningkatkan potensi *entrapment* (penjepitan), serta berisiko untuk terpapar panas dan pengelolaan *scrap*.

Setelah tahapan proses pertama hingga keenam dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses pencetakan injeksi atau yang disebut dengan proses produksi. Proses ini merupakan pembuatan komponen dengan cara melelehkan material berbahan dasar plastik dan menyuntikkan ke dalam cetakan baja yang telah dirakit. Proses pencetakan injeksi ini menggunakan mesin cetak injeksi khusus dengan tahapan sebagai berikut:

1. Desain cetakan yang sudah dibuat sesuai dengan bentuk komponen yang diinginkan;
2. Persiapan bahan material termo plastik dipanaskan hingga meleleh;
3. Injeksi material dengan cara material cair disuntikkan ke dalam cetakan yang telah dirakit dengan tekanan tinggi;
4. Material mendingin dan mengeras sesuai dengan bentuk cetakan;
5. Bagian yang sudah padat kemudian dikeluarkan dari cetakan.

Proses penyuntikan injeksi memiliki risiko yang menimbulkan ketidaknyamanan, risiko kesehatan dan menurunkan efisiensi kerja operator. Keadaan ini membuat operator bekerja dengan postur tubuh yang tidak alami karena gerakan yang berulang, kondisi ini berisiko menimbulkan kelelahan otot, nyeri punggung hingga cedera *musculoskeletal* jika berlangsung dalam jangka panjang. Pekerja juga berisiko terkena paparan panas, kebisingan, *entrapment*, dan potensi kebakaran. Selain itu, potensi kesalahan pengaturan mesin yang dapat merusak cetakan atau menghasilkan cacat produk.

Proses terakhir yaitu pendistribusian dari hasil produksi mesin CNC. Hal ini bisa melibatkan berbagai tahapan, mulai dari pengemasan, *palletizing*, pelabelan, penyimpanan di gudang, perencanaan rute pengiriman, dan pemuatan ke truk. Pendistribusian yang efisien memainkan peran penting dalam kepuasan konsumen dan keberhasilan bisnis. Proses pengiriman yang tepat waktu, aman, dan sesuai harapan konsumen dapat meningkatkan reputasi perusahaan dan mendorong pembelian berulang.

Pada proses akhir ini tidak luput dari potensi risiko, diantaranya adanya proses angkut manual barang berat sehingga berpotensi menyebabkan cedera *musculoskeletal*. Risiko kecelakaan karena bekerja di dekat *forklift* pun dapat terjadi, hingga terpeleset dan terjatuh di area *loading dock*, serta risiko kesalahan dokumen yang dapat memicu *return*.

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan, ditemukan banyak potensi risiko yang dapat terjadi selasa proses produksi. Berbagai potensi risiko tersebut perlu dilakukan upaya pengendalian dengan perancangan ergonomi berbasis HMI yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pengendalian Risiko Proses Produksi Berbasis HMI

No	Proses	Potensi Risiko	Upaya Pengendalian berbasis HMI
1	Pembuatan Desain	Risiko kesalahan saat mendesain: Berpotensi menyebabkan pekerjaan ulang dan ketidaksesuaian komponen yang dapat meningkatkan risiko paparan pada tahap berikutnya.	*Guided workflows* dalam HMI dikonfigurasi untuk mengharuskan pengecekan aspek desain tertentu sebelum dokumen disetujui.
		Risiko ergonomi pada desainer: Postur tubuh yang tidak ergonomis karena duduk terlalu lama, ketegangan mata.	Penerapan *workstation* yang dilengkapi pengaturan monitor dan keyboard ergonomis serta pengaturan tampilan otomatis untuk mengurangi kelelahan mata.
2	Perencanaan bahan	Bahaya fisik: Operator mesin terpapar debu resin, uap bahan yang dipanaskan, dan tumpahan bahan kimia.	HMI untuk mengontrol dan memonitor suhu serta kelembaban ruang penyimpanan, termasuk alarm ketika parameter melebihi NAB yang ditentukan.
		Aktivitas *manual handling:* Berpotensi menimbulkan gangguan muskuloskeletal.	Peralatan *material handling* seperti *hoist* dan konveyor dilengkapi kontrol HMI yang memungkinkan penyesuaian ketinggian untuk mengurangi pengangkatan manual.
		Bahaya kebakaran: Beberapa jenis resin memiliki risiko kebakaran apabila tidak disimpan sesuai ketentuan *material safety data sheets.*	Penggunaan panel *display* HMI digital di ruang kontrol untuk menampilkan SOP penanganan tumpahan bahan kimia dan keadaan darurat lainnya.
3	Pembuatan Baja Untuk Cetakan (*Machining*)	Risiko cedera akibat kontak dengan alat potong berputar, serpihan logam, atau percikan *coolant.*	HMI dilengkapi fitur *preview toolpath* 3D untuk mengurangi risiko kesalahan pemesinan. Sistem *interlock* pada pintu keselamatan terhubung ke HMI, memastikan mesin tidak berjalan ketika pintu terbuka.
		Operator mesin terpapar kebisingan, getaran, dan bahan kimia.	Pemantauan *real-time* berbasis HMI untuk menampilkan tingkat kebisingan dan getaran di area kerja secara *real-time.* HMI terhubung dengan sensor kualitas udara dapat memantau konsentrasi bahan kimia berbahaya di area kerja. HMI akan menampilkan peringatan jika konsentrasi melebihi batas aman.
		Postur kerja yang kurang ideal, seperti memutar tubuh untuk mengakses panel, dapat menimbulkan risiko ergonomi.	Panel kontrol genggam memungkinkan operator bekerja tanpa postur memutar tubuh.

No	Proses	Potensi Risiko	Upaya Pengendalian berbasis HMI
4	Pengamplasan	Bahaya fisik: Operator terpapar debu logam halus, tersangkut pada alat putar, *hand-arm vibration*, postur kerja statis dan tidak ergonomi, serta iritasi dari interaksi bahan kimia pada pemoles.	HMI pada sistem ventilasi menunjukkan aliran udara dan status filter untuk memastikan paparan debu minimal. Mesin pemoles dilengkapi pengaturan kecepatan, pelindung otomatis, serta *dead-man switch*. Meja kerja dapat diatur ketinggiannya melalui HMI agar operator tidak membungkuk. HMI memonitor keausan alat dan penentuan jadwal perawatan. *Checklist* PPE pada HMI memastikan riwayat penggunaan respirator dan pelindung mata.
5	Perakitan (*assembling*)	Risiko cedera dari alat tangan	Desain HMI (layar sentuh, panel kontrol) dengan tata letak yang jelas, instruksi visual yang mudah dipahami, dan tombol yang mudah dijangkau
		Postur kerja statis dan berulang karena mengangkat panel besar	Menggunakan meja perakitan yang ketinggiannya dapat diatur secara elektrik atau hidrolik melalui HMI (tombol naik/turun) untuk menyesuaikan tinggi badan operator yang berbeda dan ketinggian tugas yang spesifik, memastikan panel selalu dalam jangkauan optimal. Menggunakan alat pengangkat (seperti *hoist* atau *manipulator* pneumatik / listrik) yang dirancang khusus untuk mengangkat dan memposisikan panel besar, operator cukup menggunakan kontrol (tombol tekan, *joystick*, atau layar sentuh HMI sederhana) untuk memandu panel ke posisi yang tepat.
		Risiko kesalahan: Perakitan yang mengakibatkan *rework* berlebih, dampaknya menyebabkan penundaan pengiriman dan penurunan kualitas produk.	HMI dengan menyajikan instruksi kerja terperinci dalam format visual yang mudah dipahami, seperti diagram alur, gambar 3D, atau video, langsung di stasiun kerja. HMI untuk pencatatan dan pelacakan data dari setiap perakitan dicatat secara otomatis, memungkinkan penelusuran kembali (*traceability*) jika ada masalah kualitas di kemudian hari
6	Percobaan produksi (*trial*)	Risiko terpapar panas dan pengelolaan *scrap*	HMI untuk pemantauan suhu dan visualisasi, dengan menampilkan suhu operasional dari berbagai zona pemanasan (*heater*, ekstruder, cetakan) secara *real-time* melalui dasbor yang jelas dan mudah dibaca, sehingga operator dapat memantau kondisi tanpa harus mendekati mesin secara fisik.
		Risiko meliputi kelelahan akibat gerakan berulang,	Menggunakan tata letak layar HMI yang intuitif, dengan tombol dan kontrol yang

No	Proses	Potensi Risiko	Upaya Pengendalian berbasis HMI
		paparan panas, kebisingan, *entrapment*, dan potensi kebakaran.	mudah dijangkau dan dioperasikan, untuk mengurangi gerakan fisik yang tidak perlu dari operator saat berinteraksi dengan sistem (desain antarmuka ergonomis).
7	Produksi dan distribusi	Risiko kecelakaan karena bekerja di dekat forklift, terpeleset dan terjatuh di area loading dock.	Pemasangan sistem HMI pada forklift yang memberikan peringatan visual dan suara (*alarm*) kepada operator ketika mendeteksi pejalan kaki atau objek lain dalam jarak berbahaya, terutama di area *blind spot* atau persimpangan di *loading dock*.
		Risiko kesalahan dokumen yang dapat memicu *retur*.	Warehouse Management System (WMS) dengan HMI untuk *pick lists, scanning barcode, real-time inventory*, notifikasi paket yang butuh penanganan khusus.

Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya, HMI dapat digunakan untuk memonitoring serta mengontrol suatu proses di industri. Peranan HMI di industri sangat penting untuk mengontrol dan mengendalikan suatu sistem sehingga waktu dan tenaga kerja akan lebih efisien (8,11). Dengan menggunakan HMI maka operator atau pekerja dalam hal ini adalah manusia akan dengan mudah untuk monitoring kondisi mesin yang sedang beroperasi dan dengan mudah melacak kesalahan jika mesin mengalami gangguan. HMI dapat melakukan pengoperasian dan mengetahui status mesin secara real-time dengan cara manual maupun pengontrolan melalui komputer. Selain itu HMI juga digunakan untuk menggantikan fungsi dari *push button* dan *pilot lights*. Sehingga dengan desain HMI dapat memudahkan pekerjaan fisik (12).

Jika dilihat dari sisi kesehatan dan keselamatan kerja (K3), HMI juga berguna untuk mengurangi risiko cedera, kesalahan, serta meningkatkan produksi dan kualitas interaksi. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu pada industri manufaktur, HMI dapat dikatakan suatu GUI (*Graphic User Interface*) yang akan dioperasikan oleh operator mesin atau pengguna yang memerlukan data kinerja mesin (8,13). Operator akan dengan sangat mudah memantau kondisi mesin dari jarak jauh menggunakan komputer pusat (*workstation*) serta dapat membantu dalam mencatat informasi data. Dalam memantau data mesin yang terhubung secara online dan real-time, HMI memiliki berbagai macam visualisasi yang dapat memberikan visualisasi kondisi mesin yang sedang bekerja (14).

Penerapan HMI dalam proses industri merupakan penerapan ergonomi di era digital dan otomatisasi. Ergonomi kognitif menjadi bidang yang berkembang pesat dalam dunia K3, meliputi desain sistem informasi, antarmuka perangkat lunak, dan sistem peringatan kini menjadi bagian penting dalam kajian ergonomi (15). Ergonomi yang diterapkan di perusahaan dapat memberikan berberapa manfaat secara jangka panjang yang dapat mendukung sistem industri yang unggul dan berdaya saing. Pertama, ergonomi dapat meningkatkan kesehatan dan keselamatan kerja dengan mengurangi risiko gangguan kesehatan akibat kerja. Sama halnya dengan yang dialami oleh operator perusahaan yang rentan dengan gangguan MSDs seperti nyeti punggung, cidera bahu, *carpal tunnel syndrome,* terutama jika bekerja dengan postur statis, mengangkat beban berat dan melakukan gerakan berulang (16). Kedua, meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja. Kondisi ergonomi memungkinkan operator melakukan pekerjaannya lebih cepat, leboh akurat dan beban fisik mental leboh rendah. Penempatan tata letak alat kerja yang optimal dapat mengurangi pencarian alat bahan, sementara postur kerja yang baik membuat operator mempertahankan performa kerja dalam waktu lama (17). Ketiga, mengurangi kesalahan dan kecelakaan kerja. Kesalahan manusia (*human error*) menjadi penyebab utama kecelakaan kerja dan kegagalan sistem produksi. Ergonomi kognitif bertujuan untuk meminimalkan kesalahan melalui desain sistem informasi, antarmuka kontrol, dan alur kerja yang intuitif dan mudah dipahami. Misalnya, warna dan simbol pada panel kontrol mesin yang didesain dengan prinsip ergonomi visual dapat membantu operator membedakan status mesin secara cepat, mencegah salah tekan atau keterlambatan dalam pengambilan keputusan (18). Keempat, meningkatkan kepuasan dan keterlibatan karyawan. Hal ini disebabkan karena ketika pekerja merasa

diperhatikan kebutuhannya dan berakibat munculnya perasaan rasa dihargai dan dihormati sebagai manusia. Kepuasan kerja yang tinggi akan berujung pada peningkatan motivasi dan loyalitas (19). Kelima, mendukung penerapan teknologi baru dan otomatisasi. Tujuan ergonomi dalam hal ini adalah memastikan bahwa teknologi ini dapat beradaptasi dengan pengguna dalam hal ini pekerja, bukan sebaliknya. Ergonomi membantu mendesain sistem yang memungkinkan manusia dan mesin bekerja sama dengan harmoni (15,20).

KESIMPULAN

Penerapan K3 melalui konsep *hierarchy of control* merupakan langkah fundamental dalam industri manufaktur yang memiliki tingkat risiko tinggi. Namun, di sejumlah perusahaan di Kabupaten Gresik, pengendalian berdasarkan hirarki masih belum optimal. Di sisi lain, perkembangan otomatisasi dan penggunaan *human machine interface* (HMI) membuka peluang peningkatan keselamatan kerja melalui antarmuka yang lebih informatif, ramah pengguna, serta mendukung pengawasan mesin secara *real-time.*

Hasil observasi menunjukkan bahwa proses produksi menggunakan CNC masih memiliki berbagai risiko ergonomi, mulai dari postur kerja yang buruk, gerakan berulang, posisi kerja statis, hingga *manual handling*. Permasalahan ini dapat menurunkan kenyamanan, kesehatan, serta produktivitas operator. Oleh karena itu, evaluasi ergonomi dan perbaikan desain stasiun kerja menjadi kebutuhan penting, termasuk penerapan HMI dan penilaian postur kerja secara berkala menggunakan metode ergonomi.

Penerapan ergonomi dan HMI yang tepat tidak hanya meningkatkan kesehatan dan keselamatan pekerja, tetapi juga meningkatkan efisiensi, mengurangi kesalahan operasional, meningkatkan kepuasan kerja, serta mendukung integrasi teknologi digital di perusahaan. Dengan demikian, integrasi antara *hierarchy of control*, prinsip ergonomi, dan pemanfaatan HMI merupakan strategi efektif untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, produktif, dan berkelanjutan di industri manufaktur.

DAFTAR PUSTAKA

1. Amin A. KONSEP DAN PENERAPAN KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA. In: First. Purbalingga: CV. Eureka Media Aksara; 2025.
2. Marlina L, Reda Rizal. PENERAPAN SMK3 DI LINGKUNGAN KERJA MANUFAKTUR PRODUK MAKANAN DAN MINUMAN. BINA TEKNIKA. 2016 Jun;12(1):1–10.
3. NIOSH. About Hierarchy of Controls | Hierarchy of Controls | CDC. 2015.
4. Mangarru F. Implementasi Program Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Selama Penerapan New Normal di PT. Pangansari Utama. [Makassar]: Universitas Bosowa Makassar; 2021.
5. Damayanti R, Ramandhani E. DESCRIPTION OF ACCIDENT AT STEEL INDUSTRY IN GRESIK INDONESIA. Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health. 2018 Apr 19;2(2):152.
6. Maniar ED, Kurniawan S, Isnen M, Ridwan A. Perancangan Human Machine Interface (HMI) Pada Modul Praktikum Sistem HMI Berbasis PLC Omron CP1E NA20DRA. ELTI Jurnal Elektronika, Listrik dan Teknologi Informasi Terapan. 2019 Dec;2(1):1–7.
7. Qashlim A, Prahasto T, Gernowo R, Al U, Mandar A, Barat S. Evaluasi Human Machine Interface Menggunakan Kriteria Usability Pada Sistem E-learning Perguruan Tinggi. Jurnal Sistem Informasi Bisnis. 2014 Jul 21;4(2):96–107.
8. Akbar AA, Stefanie A. IMPLEMENTASI HUMAN MACHINE INTERFACE UNTUK PANEL MOTOR CONTROL CENTER DI PT. SOLUSI INDOSISTEM OTOMAT. Emitor: Jurnal Teknik Elektro. 2023 Mar 21;1(1):78–86.
9. Cahyadi WRC, Nugraha ASN, Suprapto S, Nafis MKN. Pelatihan Program CNC dengan Media Mastercam X5 Diaplikasikan Pada Mesin CNC Milling GSK. IMPACT: Community Service Journal. 2025 Feb 28;1(1):8–14.
10. Prianto E. PROSES PERMESINAN CNC DALAM PEMBELAJARAN SIMULASI CNC. Jurnal Edukasi Elektro. 2017 Aug 2;1(1).
11. Priswanto, Herdantyo T, Nugroho DT, Ramadhani Y, Mubyarto A. DESAIN DAN SIMULASI SISTEM HMI (Human Machine Interface) BERBASIS CITECT SCADA PADA KONVEYOR PROSES DI INDUSTRI. In: Seminar Nasional Edusaintek. FMIPA UNIMUS 2018; 2018. p. 253–62.

12. Janizal, Firmansyah A, Riyadi S. Automation Cup Sealer Using Outseal PLC Mega V.1.1. Ramatekno. 2021 Oct 15;1(2):31–6.
13. Adriel S, Mulyadi M, Kartadinata VB, Wijayati L. Penggunaan Human Machine Interface Untuk Simulasi Pengolahan Minyak Kelapa Sawit. Jurnal Elektro. 2020 Sep;13(1):21–30.
14. Rahadian H, Heryanto MA. Pengembangan Human Machine Interface (HMI) pada Simulator Sortir Bola sebagai Media Pembelajaran Otomasi Industri. Jurnal Nasional Teknik Elektro. 2020 Jul 7;9(2):84 – 91–84 – 91.
15. Bora MA, Hanafie A. Ergonomi Industri: Optimalisasi Sistem Kerja Manusia-Mesin di Era Otomatisasi. 1st ed. Rudy, editor. Agam: Yayasan Tri Edukasi Ilmiah; 2025.
16. Hanafie A, Haslindah A. ERGONOMI. 1st ed. Serang: AA. Rizky; 2021.
17. Hanafie A, Haslindah A, Bora MA, Herman H. PENERAPAN GERAKAN KERJA DAN RISIKO POSTUR KERJA YANG ERGONOMIS. ILTEK : Jurnal Teknologi. 2025 May 25;20(01):37–45.
18. Hutabarat J. KOGNITIF ERGONOMI: Aplikasi pada Pencantingan Batik Tulis dan Sopir Angkotan Kota. Malang: Mitra Gajayana; 2018.
19. Lawi A, Bora MA, Arifin R, Andriani M, Jumeno D, Herman, et al. ERGONOMI INDUSTRI. Padang: Global Eksekutir Teknologi; 2023.
20. Arsi F, Lemadi G, Sari RK, Prasetio DEA, Yudisha N, Marfuah HH, et al. ERGONOMI INDUSTRI. Bandung: Widina Media Utama; 2025.