
INOVASI MATERIAL HANDLING PANAS UNTUK KESELAMATAN, KONSISTENSI PROSES, DAN NILAI B2B INDUSTRI KIMIA

Oleh

Prita Prasetya^{1*}, Mochamad Hasan Purnomo², Moh Haifan³

^{1,2,3}Program Studi Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Indonesia

Email: 1pritaprasetya@gmail.com

Article History:

Received: 22-05-2026

Revised: 21-06-2026

Accepted: 25-06-2026

Keywords:

Hot Material Handling,
Automation System;
Safety, Process
Consistency, B2B Value

Abstract: *The chemical industry requires safe, stable, and consistent production processes, particularly in hot material handling activities. Manual handling of heated powder materials in glass containers may expose operators to heat, physical workload, potential container breakage, and inconsistent pouring movements. These conditions can affect occupational safety and process consistency. This study aims to examine the innovation of an automated hot material handling system as a process solution to improve safety, standardization, and B2B value in the chemical industry. The research used a descriptive-conceptual case study approach through direct observation, technical document review, and workflow analysis of the automation system. The results demonstrate that integrating an industrial robot, gripper, hopper, conveyor, safety fence, control system, and controller can support a safer and more structured material handling process. The system reduces direct operator involvement in high-risk areas and helps standardize the sequence of picking, pouring, and returning containers. In addition to improving operational safety and process consistency, this innovation also strengthens the company's B2B value by demonstrating reliability, process control, and commitment to safer production. The findings indicate that automated hot material handling can be an important process innovation for supporting safer, more consistent, and more competitive chemical manufacturing operations.*

PENDAHULUAN

Industri kimia memiliki proses produksi yang kompleks dan menuntut tingkat keselamatan, keteraturan, serta konsistensi yang tinggi. Setiap tahapan produksi perlu dikendalikan dengan baik karena perubahan kecil pada proses dapat memengaruhi kelancaran kerja, keselamatan operator, dan mutu produk yang dihasilkan. Salah satu tahapan yang memerlukan perhatian khusus adalah material handling panas, yaitu aktivitas pemindahan, pengangkatan, dan penuangan material dari satu titik proses ke titik berikutnya.

Berdasarkan pengamatan langsung pada area produksi, proses material handling panas memiliki risiko yang cukup tinggi apabila dilakukan secara manual. Operator

berpotensi berhadapan langsung dengan material bersuhu tinggi, wadah kaca yang rentan pecah, beban kerja fisik, serta kemungkinan paparan panas. Pada proses manual, keberhasilan penuangan sangat bergantung pada ketepatan gerakan, posisi wadah, sudut penuangan, dan kestabilan aliran material. Kondisi tersebut dapat menimbulkan variasi proses karena kemampuan, kecepatan, dan kondisi fisik operator tidak selalu sama pada setiap siklus kerja.

Material handling manual juga berkaitan erat dengan risiko ergonomi. Aktivitas mengangkat, memindahkan, dan menuang material secara berulang dapat menyebabkan beban fisik pada tubuh operator. Saputra et al. (2021) menjelaskan bahwa pekerjaan manual material handling perlu dievaluasi agar risiko kecelakaan kerja dan gangguan muskuloskeletal dapat dikurangi. Pada proses material handling panas, risiko tersebut menjadi lebih serius karena operator tidak hanya menghadapi beban kerja fisik, tetapi juga bahaya suhu tinggi dan karakteristik wadah yang rentan.

Permasalahan tersebut memerlukan konsep solusi yang mampu mengurangi keterlibatan langsung operator pada area kerja berisiko. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah sistem otomasi material handling panas. Sistem ini dirancang untuk membantu proses pengambilan wadah, penuangan material, dan peletakan kembali wadah secara lebih aman, terarah, dan terstandar. Dengan adanya sistem otomasi, aktivitas yang sebelumnya bergantung pada pekerjaan manual dapat diarahkan menjadi proses yang lebih konsisten dan lebih mudah dikendalikan.

Perkembangan sistem otomasi memberikan peluang bagi industri untuk mengurangi paparan pekerja terhadap aktivitas berisiko. Othman dan Yang (2023) menyatakan bahwa kolaborasi manusia dan robot dalam smart manufacturing dapat mendukung produktivitas, fleksibilitas, konsistensi, dan keselamatan proses. Otomasi tidak hanya dapat dipahami sebagai pengganti aktivitas manual, tetapi juga sebagai inovasi proses yang menggabungkan desain mekanik, sistem kontrol, alur kerja, serta aspek keselamatan.

Pada area material handling panas, sistem otomasi perlu dirancang dengan memperhatikan pemisahan antara operator dan zona kerja berbahaya. Penggunaan area pengaman, sistem kontrol, mekanisme pencekaman, dan perangkat penggerak menunjukkan bahwa proses penuangan material panas perlu dikendalikan melalui sistem yang lebih terstruktur. Giallanza et al. (2024) menegaskan bahwa penerapan sistem robotik di lingkungan industri perlu memperhatikan occupational health and safety agar teknologi yang digunakan benar-benar mendukung keselamatan kerja.

Kajian terbaru juga menunjukkan bahwa penerapan teknologi Industry 4.0 dan sistem robotik pada area produksi dapat membantu menurunkan paparan pekerja terhadap bahaya fisik, tetapi tetap perlu didukung oleh prosedur keselamatan, pengendalian akses, dan evaluasi risiko yang jelas (Arana-Landín et al., 2023; Faccio et al., 2023; Li et al., 2024). Prinsip ini relevan pada proses penuangan material panas karena sistem tidak hanya harus mampu memindahkan material, tetapi juga menjaga operator tetap berada di luar area berisiko.

Selain aspek keselamatan, sistem otomasi material handling panas juga berhubungan dengan konsistensi proses. Pada industri kimia, keteraturan alur proses menjadi penting karena material yang masuk ke tahap berikutnya perlu berada dalam kondisi yang relatif stabil. Material berbentuk powder atau serbuk yang telah melalui proses pemanasan membutuhkan penanganan yang hati-hati agar aliran material tetap terkendali. Apabila

proses penuangan dilakukan dengan pola yang berbeda-beda, kondisi material yang masuk ke proses lanjutan juga dapat bervariasi dan berpotensi memengaruhi kelancaran proses berikutnya.

Inovasi material handling panas berhubungan dengan perbaikan sistem kerja, pengurangan risiko operator, pengendalian variasi proses, dan standarisasi aktivitas. Proses manual yang sebelumnya bergantung pada keterampilan operator dapat diubah menjadi proses yang lebih terarah melalui sistem otomasi. Standarisasi ini penting karena proses yang berulang dengan pola yang sama akan lebih mudah diawasi, dikendalikan, dan diperbaiki. Rahdiana et al. (2025) menekankan bahwa keselamatan kerja di industri dipengaruhi oleh komitmen manajemen, lingkungan kerja, aturan keselamatan, pelatihan, serta kompetensi keselamatan.

Material handling panas juga tidak dapat dilepaskan dari karakteristik material, suhu, bentuk fisik bahan, serta wadah yang digunakan. Material yang berbentuk powder dan telah dipanaskan perlu ditangani secara stabil agar proses berikutnya dapat berjalan lebih baik. Penuangan material panas bukan sekadar aktivitas pemindahan bahan, tetapi menjadi bagian dari rangkaian proses produksi yang dapat memengaruhi keteraturan aliran material. Inovasi otomasi pada tahap ini dapat membantu menjaga kestabilan proses sebelum material masuk ke tahap produksi berikutnya.

Inovasi proses produksi juga memiliki nilai penting bagi pasar B2B. Pelanggan industri tidak hanya menilai produk dari harga, tetapi juga dari kemampuan pemasok menjaga konsistensi mutu, keamanan proses, dan keandalan pasokan. Krimi et al. (2024) menjelaskan bahwa rantai pasok kimia B2B perlu memperhatikan resiliensi, keberlanjutan, dan keandalan proses. Uddin dan Jayaram (2025) juga menunjukkan bahwa tekanan dari pelanggan dan persaingan dapat mendorong pemasok untuk menerapkan otomasi manufaktur sebagai upaya meningkatkan kemampuan operasional.

Di lingkungan industri kimia, inovasi material handling panas tidak hanya berfungsi sebagai perbaikan teknis, tetapi juga menjadi bentuk komitmen perusahaan dalam menjaga keselamatan, mutu, dan keandalan proses produksi. Sistem produksi yang aman, stabil, dan terdokumentasi menunjukkan bahwa perusahaan memiliki perhatian terhadap keberlanjutan hubungan dengan pelanggan industri. Kowalkowski et al. (2024) menyatakan bahwa inovasi dalam pasar B2B semakin berkaitan dengan kemampuan perusahaan menciptakan nilai melalui solusi dan layanan yang menjawab kebutuhan pelanggan industri.

Kajian ini difokuskan pada inovasi material handling panas sebagai konsep solusi terhadap permasalahan keselamatan dan variasi proses pada industri kimia. Pembahasan diarahkan pada hasil pengamatan langsung terhadap proses, kebutuhan pengembangan sistem otomasi, peran robot dalam mendukung material handling panas, serta kontribusi inovasi terhadap keselamatan kerja, konsistensi proses, dan nilai B2B. Dengan pendekatan tersebut, artikel ini memberikan pemahaman bahwa inovasi pada proses penanganan material panas dapat menjadi bagian penting dalam penguatan sistem produksi yang lebih aman, terstandar, dan bernilai strategis bagi industri kimia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif berbasis dokumentasi visual. Pendekatan ini dipilih karena data utama yang digunakan berupa foto instalasi sistem

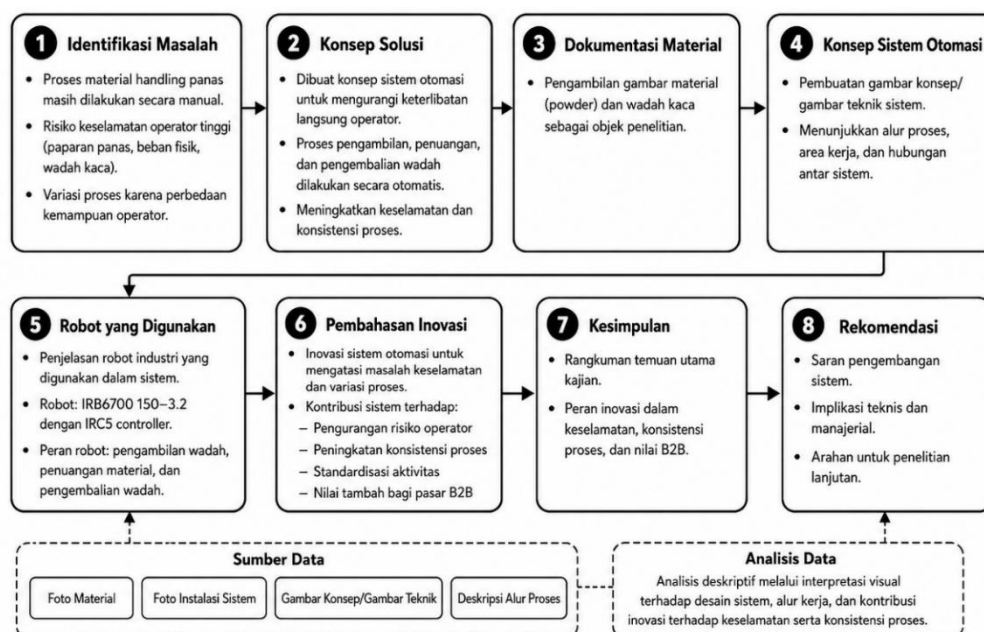
otomasi, foto material, gambar teknik, serta deskripsi alur proses. Analisis tidak diarahkan pada pengukuran kuantitatif, tetapi pada pemaknaan visual terhadap rancangan sistem, pola kerja, urutan proses, serta kontribusi sistem terhadap keselamatan dan standarisasi proses.

Objek penelitian adalah sistem otomasi material handling panas pada industri kimia. Sistem ini dikaji sebagai bentuk inovasi proses yang dirancang untuk menangani aktivitas material handling secara lebih aman, terarah, dan terstandar. Fokus kajian diarahkan pada bagaimana sistem otomasi bekerja dalam mendukung proses pengambilan material, penuangan, dan pengembalian wadah ke area penempatan, tanpa membahas perhitungan performa teknis secara kuantitatif.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi terhadap foto lapangan, gambar teknik, dan deskripsi proses. Foto lapangan digunakan untuk memahami kondisi aktual area kerja, posisi sistem, area pengamanan, serta hubungan sistem dengan proses produksi. Gambar teknik digunakan untuk memahami rancangan umum sistem dan alur kerja otomasi. Sementara itu, deskripsi proses digunakan untuk menjelaskan tahapan kerja mulai dari material datang, proses pengambilan, proses penuangan, hingga peletakan kembali wadah.

Tahapan metodologi penelitian disusun secara sistematis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Tahapan tersebut dimulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perumusan tujuan penelitian, pengumpulan data, identifikasi objek kajian, analisis data, pembahasan, hingga penyusunan kesimpulan dan rekomendasi. Alur ini digunakan agar kajian terhadap sistem otomasi material handling panas dapat dilakukan secara terarah dan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

Analisis data dilakukan secara deskriptif-konseptual melalui interpretasi dokumentasi visual dan informasi teknis pendukung. Analisis dimulai dengan mengamati fenomena yang muncul pada foto dan gambar teknik, kemudian menghubungkannya dengan alur kerja sistem otomasi. Selanjutnya, hasil pengamatan ditafsirkan untuk menjelaskan



Sumber: Diolah penulis, 2026.

kontribusi sistem terhadap pengurangan risiko kerja, peningkatan keteraturan proses, serta penguatan nilai B2B pada industri kimia.

Gambar 1. Tahapan metodologi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Permasalahan Material Handling Panas

Berdasarkan pengamatan langsung pada area produksi, proses material handling panas memiliki tantangan utama pada aspek keselamatan operator, keteraturan alur kerja, dan konsistensi proses. Material yang ditangani berbentuk powder dan ditempatkan dalam wadah kaca sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Karakteristik material dan wadah tersebut menunjukkan bahwa proses penanganan membutuhkan kehati-hatian tinggi, terutama karena material telah melalui proses pemanasan dan wadah kaca memiliki potensi risiko apabila terjadi benturan, kesalahan posisi, atau ketidaktepatan gerakan saat proses penuangan.



Gambar 1. Material powder dalam wadah kaca sebagai objek material handling panas

Pada proses manual, operator berpotensi berhadapan langsung dengan material panas, wadah kaca, serta aktivitas fisik yang berulang. Kondisi ini dapat menimbulkan risiko paparan panas, risiko ergonomi, dan variasi proses. Saputra et al. (2021) menekankan bahwa aktivitas manual material handling perlu dievaluasi karena berhubungan dengan risiko kerja dan beban fisik operator. Permasalahan pada material handling panas tidak hanya berkaitan dengan pemindahan material, tetapi juga dengan keselamatan, stabilitas kerja, dan kebutuhan standardisasi proses.

Untuk memperjelas keterkaitan antara permasalahan proses manual, konsep solusi otomasi, dan kontribusi inovasi yang dihasilkan, Tabel 2 menyajikan hubungan antara aspek permasalahan, kondisi proses manual, konsep solusi, serta implikasi sistem terhadap keselamatan, konsistensi proses, dan nilai B2B industri kimia. Tabel ini menunjukkan bahwa inovasi material handling panas tidak hanya berperan sebagai pengganti aktivitas manual,

tetapi juga sebagai upaya perbaikan sistem kerja yang lebih aman, terstandar, dan bernilai strategis.

Tabel 1. Keterkaitan Permasalahan, Konsep Solusi, dan Kontribusi Inovasi

| Aspek Permasalahan | Kondisi pada Proses Manual | Konsep Solusi Otomasi | Kontribusi Inovasi | Dukungan Literatur |
|--|--|--|--|---|
| Risiko keselamatan operator | Operator berhadapan langsung dengan material panas dan wadah kaca yang berisiko | Sistem otomasi mengurangi keterlibatan langsung operator pada area berbahaya | Mengurangi potensi paparan panas, kontak langsung, dan risiko kecelakaan kerja | Arana-Landín et al. (2023); Giallanza et al. (2024); Li et al. (2024) |
| Beban kerja fisik | Operator melakukan aktivitas mengambil, memindahkan, dan menuang wadah secara manual | Aktivitas fisik utama dialihkan ke sistem robotik | Mengurangi beban kerja fisik dan potensi risiko ergonomi | Saputra et al. (2021); Kim et al. (2021) |
| Variasi proses | Kecepatan, sudut penuangan, dan kestabilan gerakan bergantung pada kondisi operator | Proses dibuat dalam alur kerja yang lebih terarah dan berulang | Mendukung standarisasi aktivitas dan konsistensi proses | Othman dan Yang (2023); Faccio et al. (2023) |
| Pengendalian area kerja | Area kerja manual berpotensi membuat operator berada dekat dengan sumber bahaya | Sistem dilengkapi pembatas area kerja dan pengendalian akses | Menciptakan pemisahan antara operator dan zona kerja berisiko | Hanna et al. (2022); Huck et al. (2021); Karagiannis et al. (2022) |
| Kesiapan material menuju proses lanjutan | Aliran material dapat bervariasi karena proses penuangan tidak selalu sama | Penuangan dilakukan melalui mekanisme yang lebih terstruktur | Membantu menjaga keteraturan aliran material sebelum proses berikutnya | Javaid et al. (2022); Kheirabadi et al. (2023) |
| Kredibilitas proses produksi | Proses manual sulit dijelaskan | Sistem otomasi menunjukkan | Memperkuat keandalan | Krimi et al. (2024); Uddin |

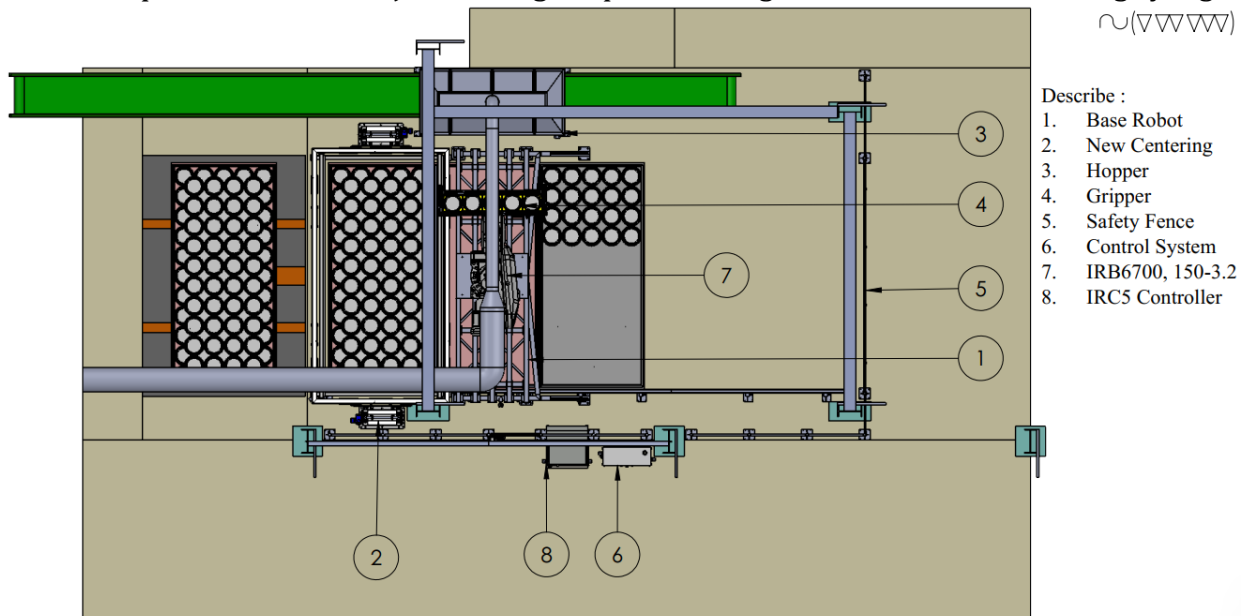
| | | | | |
|------------------------------------|---|--|--|--|
| | sebagai sistem yang konsisten dan terdokumentasi | adanya rancangan proses yang lebih modern dan terkontrol | proses dan nilai perusahaan bagi pelanggan industri | dan Jayaram (2025); Kowalkowski et al. (2024) |
| Transformasi proses industri kimia | Proses masih mengandalkan aktivitas manual pada area berisiko | Otomasi digunakan sebagai bentuk inovasi proses produksi | Mendukung kesiapan industri kimia menuju proses yang lebih aman dan terstandar | Sulistyo et al. (2025); Rahdiana et al. (2025) |

Berdasarkan Tabel 2, konsep sistem otomasi material handling panas dapat dipahami sebagai solusi yang menghubungkan kebutuhan operasional dan kebutuhan strategis perusahaan. Dari sisi operasional, sistem membantu mengurangi risiko operator, mengendalikan area kerja, dan membuat alur proses lebih konsisten. Dari sisi strategis, sistem yang lebih aman dan terdokumentasi dapat memperkuat kredibilitas perusahaan sebagai pemasok industri, terutama pada pasar B2B yang menuntut keandalan proses dan konsistensi mutu.

Konsep Solusi Sistem Otomasi

Permasalahan pada proses manual kemudian diselesaikan melalui penyusunan konsep sistem otomasi. Konsep sistem ini dirancang untuk mengurangi keterlibatan langsung operator pada area kerja berisiko dan membuat proses pengambilan, penuangan, serta peletakan kembali wadah menjadi lebih terarah. Gambar 2 menunjukkan konsep sistem otomasi material handling panas yang menggambarkan hubungan antara area material, robot, area penuangan, dan sistem pendukung proses.

Konsep otomasi ini sejalan dengan perkembangan smart manufacturing yang



menempatkan otomasi dan robot sebagai bagian dari perbaikan proses produksi. Othman dan Yang (2023) menjelaskan bahwa kolaborasi manusia dan robot dapat mendukung produktivitas, fleksibilitas, konsistensi, dan keselamatan proses. Dalam kajian ini, otomasi tidak hanya dipahami sebagai penggunaan robot, tetapi sebagai inovasi sistem yang menyatukan alur kerja, pengamanan area, mekanisme penuangan, dan pengendalian proses.

Gambar 2. Gambar konsep sistem otomasi

Tabel 2. Elemen Konsep Sistem Otomasi dan Fungsi Inovasinya

| Elemen Konsep Sistem | Fungsi dalam Sistem | Kontribusi terhadap Inovasi |
|------------------------------|--|---|
| Area penempatan material | Menjadi titik awal material sebelum proses pengambilan | Membantu membuat alur kerja lebih teratur dan mudah dikendalikan |
| Sistem pengambilan wadah | Mengambil wadah berisi material dari area penempatan | Mengurangi keterlibatan langsung operator pada material panas |
| Sistem penuangan material | Mengarahkan material menuju proses lanjutan | Mendukung proses penuangan yang lebih terarah dan konsisten |
| Area penerimaan material | Menjadi titik penerima material setelah proses penuangan | Membantu menjaga kesinambungan aliran material menuju tahap berikutnya |
| Sistem pengamanan area kerja | Membatasi akses operator ke zona kerja berisiko | Mengurangi potensi kontak langsung dengan area panas dan gerakan mesin |
| Sistem kontrol | Mengatur urutan kerja sistem otomasi | Membantu proses berjalan sesuai alur yang dirancang |
| Robot industri | Menjalankan aktivitas pengambilan, penuangan, dan pengembalian wadah | Menjadi perangkat utama dalam standarisasi proses material handling |
| Integrasi sistem | Menghubungkan material, robot, area penuangan, dan proses lanjutan | Menunjukkan inovasi sebagai sistem kerja terpadu, bukan hanya penggunaan alat tunggal |

Berdasarkan Tabel 2, konsep sistem otomasi material handling panas dapat dipahami sebagai solusi yang mengintegrasikan keselamatan kerja, keteraturan proses, dan keandalan operasional. Sistem ini mengubah aktivitas manual yang sebelumnya bergantung pada kemampuan operator menjadi alur kerja yang lebih terstruktur. Hal ini sejalan dengan kajian Giallanza et al. (2024) dan Li et al. (2024) yang menekankan bahwa penerapan sistem robotik pada lingkungan industri perlu memperhatikan keselamatan kerja, pengendalian risiko, dan pemisahan area kerja manusia dengan sistem mesin.

Konsep ini juga mendukung standarisasi aktivitas karena proses pengambilan, penuangan, dan pengembalian wadah dilakukan melalui urutan kerja yang dirancang secara berulang. Standarisasi tersebut penting dalam industri kimia karena proses material handling panas bukan hanya aktivitas pemindahan bahan, tetapi juga bagian dari rangkaian produksi yang dapat memengaruhi keteraturan proses berikutnya. Sistem otomasi material

handling panas dapat diposisikan sebagai inovasi proses yang memberikan kontribusi terhadap keselamatan operator, konsistensi proses, serta nilai tambah bagi industri kimia B2B.

Peran Robot dalam Sistem Material Handling Panas

Robot industri digunakan sebagai perangkat utama untuk menjalankan aktivitas pengambilan wadah, penuangan material, dan pengembalian wadah. Dengan adanya robot, aktivitas yang sebelumnya bergantung pada keterampilan dan kondisi operator dapat diarahkan menjadi proses yang lebih terstruktur. Robot berperan untuk menjaga urutan kerja agar proses berlangsung dengan pola yang lebih konsisten, mulai dari mengambil wadah pada posisi yang telah ditentukan, membawa wadah ke area penuangan, menuangkan material, hingga mengembalikan wadah ke area penempatan.

Literatur mengenai human-robot collaboration menunjukkan bahwa penggunaan robot pada sistem produksi dapat membantu mengurangi keterlibatan manusia pada pekerjaan yang berisiko, berulang, dan membutuhkan ketepatan gerakan (Javaid et al., 2022; Li et al., 2024). Namun, penerapan robot dalam lingkungan industri tetap memerlukan perhatian terhadap pengendalian risiko, pembatasan area kerja, dan prosedur keselamatan yang jelas (Giallanza et al., 2024; Huck et al., 2021). Oleh karena itu, konsep sistem otomasi material handling panas perlu dipahami sebagai sistem terintegrasi yang tidak hanya berorientasi pada fungsi mekanis, tetapi juga pada keselamatan proses.

Pembahasan Inovasi Sistem

Inovasi utama dalam sistem ini terletak pada perubahan cara kerja dari proses manual menjadi proses otomasi yang lebih terarah. Pada proses manual, variasi dapat muncul karena perbedaan kemampuan operator, kecepatan kerja, posisi wadah, dan kestabilan gerakan saat penuangan. Melalui konsep otomasi, proses tersebut diarahkan menjadi rangkaian kerja yang lebih standar. Standardisasi ini penting karena proses yang memiliki urutan tetap akan lebih mudah diawasi, dikendalikan, dan dievaluasi.

Dari aspek keselamatan, sistem otomasi membantu mengurangi kontak langsung operator dengan material panas dan wadah kaca. Operator tidak lagi menjadi pelaksana utama proses penuangan, melainkan dapat berperan sebagai pengawas sistem dari area yang lebih aman. Hal ini sesuai dengan kajian Arana-Landín et al. (2023) yang menunjukkan bahwa teknologi Industry 4.0 dapat berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan kerja apabila diterapkan bersama pengendalian risiko yang tepat. Faccio et al. (2023) juga menegaskan bahwa penerapan sistem robotik perlu mempertimbangkan faktor manusia agar teknologi benar-benar mendukung proses kerja yang aman.

Dari aspek konsistensi proses, sistem otomasi mendukung terbentuknya alur kerja yang lebih berulang. Proses pengambilan, penuangan, dan peletakan kembali wadah dilakukan dalam urutan yang telah dirancang. Keteraturan ini membantu mengurangi ketergantungan proses pada variasi gerakan operator. Karagiannis et al. (2022) menjelaskan bahwa pengaturan zona kerja, kecepatan, dan pemisahan area pada sistem robotik dapat membantu menciptakan operasi yang lebih aman dan terkendali. Inovasi sistem otomasi material handling panas dapat diposisikan sebagai upaya untuk meningkatkan keteraturan proses sebelum material masuk ke tahap produksi berikutnya.

Dari aspek ergonomi, sistem ini juga berpotensi mengurangi aktivitas fisik operator yang berulang, seperti mengangkat, memiringkan, atau menuang wadah secara manual. Kim

et al. (2021) menunjukkan bahwa kolaborasi manusia dan robot dapat digunakan untuk memperbaiki ergonomi kerja pada aktivitas yang membutuhkan ketelitian dan kekuatan fisik. Pada proses material handling panas, pengurangan aktivitas manual menjadi penting karena risiko tidak hanya berasal dari beban kerja fisik, tetapi juga dari suhu material dan karakteristik wadah.

Keterkaitan dengan Keselamatan dan Pengendalian Risiko

Sistem otomasi material handling panas perlu dilihat sebagai upaya pengendalian risiko sejak tahap rancangan proses. Risiko yang muncul pada proses manual dapat berupa paparan panas, risiko pecahnya wadah kaca, potensi cedera akibat gerakan berulang, dan ketidakteraturan proses penuangan. Melalui sistem otomasi, risiko tersebut dapat dikurangi dengan cara memindahkan aktivitas utama dari operator ke sistem mekanis yang dikendalikan.

Hanna et al. (2022) menekankan bahwa keselamatan dalam sistem human-robot collaboration perlu dirancang secara deliberatif melalui pengaturan sistem, prosedur, dan tanggung jawab operasional. Jocelyn et al. (2023) juga menjelaskan bahwa klasifikasi aplikasi kolaborasi robot penting untuk mendukung tahap awal penilaian risiko. Berdasarkan hal tersebut, inovasi sistem material handling panas perlu dipahami sebagai solusi yang tidak hanya menyelesaikan masalah teknis, tetapi juga membantu membangun sistem kerja yang lebih aman dan terkendali.

Implikasi terhadap Nilai B2B Industri Kimia

Inovasi material handling panas juga memiliki implikasi terhadap nilai B2B. Pada industri kimia, pelanggan tidak hanya menilai produk akhir, tetapi juga memperhatikan kemampuan pemasok dalam menjaga keselamatan proses, konsistensi produksi, dan keandalan operasional. Sistem produksi yang aman dan terstandar dapat memperkuat kredibilitas perusahaan sebagai pemasok karena menunjukkan adanya komitmen terhadap pengendalian proses.

Krimi et al. (2024) menjelaskan bahwa rantai pasok kimia B2B perlu memperhatikan resiliensi, keberlanjutan, dan keandalan proses. Uddin dan Jayaram (2025) juga menunjukkan bahwa tekanan pelanggan dan persaingan dapat mendorong perusahaan untuk menerapkan otomasi manufaktur sebagai bagian dari peningkatan kapabilitas operasional. Inovasi material handling panas dapat menjadi bagian dari value proposition perusahaan, karena sistem ini tidak hanya menawarkan perbaikan proses internal, tetapi juga menunjukkan kesiapan perusahaan dalam memenuhi ekspektasi pelanggan industri.

Kowalkowski et al. (2024) menyatakan bahwa inovasi pada pasar B2B semakin berkaitan dengan kemampuan perusahaan menciptakan nilai melalui solusi dan layanan yang relevan bagi pelanggan. Pada kajian ini, nilai tersebut terlihat melalui sistem yang lebih aman, lebih terstruktur, dan lebih mudah dijelaskan kepada pelanggan sebagai bentuk komitmen terhadap keandalan proses. Sulistyono et al. (2025) juga menekankan pentingnya kesiapan transformasi industri pada sektor kimia, sehingga inovasi otomasi material handling panas dapat menjadi salah satu bentuk awal penerapan proses yang lebih modern dan terstandar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Inovasi material handling panas pada industri kimia merupakan solusi proses yang

penting untuk mengurangi risiko keselamatan kerja, variasi proses manual, dan ketergantungan terhadap keterampilan operator. Sistem otomasi yang menggunakan robot industri, gripper, hopper, conveyor, safety fence, control system, dan controller mampu membentuk alur kerja yang lebih aman, terarah, dan terstandar.

Sistem ini membantu mengurangi kontak langsung operator dengan material panas dan wadah kaca, sekaligus mendukung konsistensi proses pengambilan, penuangan, dan pengembalian wadah. Selain memberikan manfaat teknis dan operasional, inovasi ini juga memiliki nilai B2B karena menunjukkan komitmen perusahaan terhadap keselamatan, keteraturan proses, dan keandalan pasokan bagi pelanggan industri.

Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan data kuantitatif sederhana, seperti waktu siklus kerja, suhu material, jumlah siklus produksi, durasi penuangan, atau catatan keselamatan kerja. Data tersebut dapat memperkuat analisis mengenai dampak sistem otomasi terhadap efisiensi, keselamatan, dan konsistensi proses. Perusahaan juga perlu menyusun standar operasional prosedur yang jelas serta melakukan evaluasi berkala terhadap sistem otomasi material handling panas. Evaluasi dapat mencakup aspek keselamatan, kemudahan operasional, perawatan sistem, kestabilan alur kerja, dan potensi nilai tambah sistem terhadap kepercayaan pelanggan B2B.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arana-Landín, G., Laskurain-Iturbe, I., Iturrate, M., & Landeta-Manzano, B. (2023). Assessing the influence of Industry 4.0 technologies on occupational health and safety. *Heliyon*, 9(3), e13720. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13720>
- [2] Faccio, M., Granata, I., Menini, A., Milanese, M., Rossato, C., Bottin, M., Minto, R., Pluchino, P., Gamberini, L., Boschetti, G., & Rosati, G. (2023). Human factors in cobot era: A review of modern production systems features. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 85–106. <https://doi.org/10.1007/s10845-022-01953-w>
- [3] Giallanza, A., La Scalia, G., Micale, R., & La Fata, C. M. (2024). Occupational health and safety issues in human-robot collaboration: State of the art and open challenges. *Safety Science*, 169, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106313>
- [4] Hanna, A., Larsson, S., Götvall, P. L., & Bengtsson, K. (2022). Deliberative safety for industrial intelligent human-robot collaboration: Regulatory challenges and solutions for taking the next step towards Industry 4.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 78, 102386. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102386>
- [5] Huck, T., Münch, N., Hornung, L., Ledermann, C., & Wurrll, C. (2021). Risk assessment tools for industrial human-robot collaboration: Novel approaches and practical needs. *Safety Science*, 141, 105288. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105288>
- [6] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2022). Significant applications of Cobots in the field of manufacturing. *Cognitive Robotics*, 2, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2022.10.001>
- [7] Jocelyn, S., Ledoux, E., Marrero, I. A., Burllet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bonev, I., Mosbah, A., & Berger, I. (2023). Classification of collaborative applications and key variability factors to support the first step of risk assessment when integrating cobots. *Safety Science*, 166, 106219. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106219>
- [8] Karagiannis, P., Kousi, N., Michalos, G., Dimoulas, K., Mparis, K., Dimosthenopoulos, D.,

- Tokçalar, O., Guasch, T., Gerio, G. P., & Makris, S. (2022). Adaptive speed and separation monitoring based on switching of safety zones for effective human robot collaboration. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 77, 102361. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102361>
- [9] Kheirabadi, S., Keivanpour, M., Chinniah, Y., & Frayret, J. M. (2023). Human-robot collaboration in assembly line balancing problems: Review and research gaps. *Computers & Industrial Engineering*, 186, 109737. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109737>
- [10] Kim, W., Peternel, L., Lorenzini, M., Babič, J., & Ajoudani, A. (2021). A human-robot collaboration framework for improving ergonomics during dexterous operation of power tools. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, 102084. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102084>
- [11] Kowalkowski, C., Wirtz, J., & Ehret, M. (2024). Digital service innovation in B2B markets. *Journal of Service Management*, 35(2), 280–305. <https://doi.org/10.1108/IOSM-12-2022-0403>
- [12] Krimi, I., Bahou, Z., & Al-Aomar, R. (2024). Resilient and sustainable B2B chemical supply chain capacity expansions: A systematic literature review. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 39(13), 175–199. <https://doi.org/10.1108/JBIM-01-2024-0017>
- [13] Li, W., Hu, Y., Zhou, Y., & Pham, D. T. (2024). Safe human-robot collaboration for industrial settings: A survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 2235–2261. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02159-4>
- [14] Othman, U., & Yang, E. (2023). Human-robot collaborations in smart manufacturing environments: Review and outlook. *Sensors*, 23(12), 5663. <https://doi.org/10.3390/s23125663>
- [15] Rahdiana, N., Suhardi, B., Damayanti, R. W., Susanto, N., & Rohani, J. M. (2025). Towards safer workplace: A survey-based study on developing a safety climate model for the Indonesian paper industry. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 23(2), 130–148.
- [16] Saputra, A. A., Wahyudin, & Nugraha, A. E. (2021). Evaluasi aktivitas manual material handling dengan menggunakan metode biomekanika kerja pada pengangkatan thiner di bagian warehouse. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 23(2), 233–244. <https://doi.org/10.32734/jsti.v23i2.6273>
- [17] Sulisty, A. B., Karningsih, P. D., & Alvandi, S. (2025). Developing an industry-specific Lean 4.0 readiness assessment tool: A case for the chemical sector. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 23(2), 283–298.
- [18] Uddin, M. B., & Jayaram, J. (2025). Impact of buyer and competition pressure on supplier manufacturing automation implementation and workforce upskilling: The moderating role of top management support. *The International Journal of Logistics Management*, 36(4), 1063–1093. <https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2024-0332>