

Evaluasi Implementasi Otomasi Proses Dumping Material Panas dan Implikasinya terhadap Strategi B2B pada Industri Kimia

Prita Prasetya

Program Profesi Insinyur, Intitut Teknologi Indonesia

Aniek Sri Handayani

Intitut Teknologi Indonesia

Alamat : Jl. Puspitek, Setu, Kec. Serpong, 15314, Kota Tangerang Selatan, Banten, Indonesia

Korespodensi Penulis: pritaprasetya@gmail.com

Abstract. Hot material dumping in the chemical industry is an important process stage that affects occupational safety, process stability, and product quality reliability. In manual processes, dumping activities may cause variation because they are influenced by operator condition, pouring angle, work speed, and exposure to hot materials. This study aims to analyze the consistency of the hot material dumping process and formulate a B2B strategy based on process reliability. The research method uses a descriptive-quantitative case study approach with data from 20 batches, analyzed through three indicators: dumping time, pouring flow stability, and material temperature change or ΔT . The data were primary data obtained directly through field observation, production-process documentation, and recording of process parameters; journal literature was used only as the theoretical and interpretive basis. The results show that the automated process provides more consistent performance than the manual process. The average dumping time decreased from 49.14 seconds to 30.18 seconds, the coefficient of variation for dumping time decreased from 12.44% to 1.36%, the pouring flow stability score increased from 2.55 to 4.70, and the average material ΔT decreased from 15.26°C to 8.16°C. These findings indicate that automation can improve process regularity, reduce variation between batches, and maintain material conditions in a more controlled manner. This process consistency can serve as the basis for a B2B strategy based on process reliability, emphasizing process reliability, production safety, quality consistency, and data-based evidence as key values in building industrial customer trust.

Keywords: hot material dumping, process consistency, automation, B2B strategy, chemical industry

Abstrak. Proses dumping material panas pada industri kimia merupakan tahapan penting yang memengaruhi keselamatan kerja, kestabilan proses, dan keandalan mutu produk. Pada proses manual, aktivitas dumping berpotensi menimbulkan variasi karena dipengaruhi oleh kondisi operator, sudut penuangan, kecepatan kerja, serta paparan material panas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsistensi proses dumping material panas dan merumuskan strategi B2B berbasis keandalan proses. Metode penelitian menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif-kuantitatif dengan data 20

batch, yang dianalisis melalui indikator waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan perubahan suhu material atau ΔT material. Data yang digunakan merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan, dokumentasi proses produksi, dan pencatatan parameter proses; literatur jurnal hanya digunakan sebagai landasan teori dan interpretasi hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses otomasi memberikan kinerja yang lebih konsisten dibandingkan proses manual. Rata-rata waktu dumping menurun dari 49,14 detik menjadi 30,18 detik, koefisien variasi waktu turun dari 12,44% menjadi 1,36%, skor kestabilan alur penuangan meningkat dari 2,55 menjadi 4,70, dan rata-rata ΔT material menurun dari 15,26°C menjadi 8,16°C. Hasil ini menunjukkan bahwa proses otomasi mampu meningkatkan keteraturan proses, mengurangi variasi antar batch, dan menjaga kondisi material secara lebih terkendali. Konsistensi proses tersebut dapat dijadikan dasar strategi B2B berbasis process reliability, yaitu strategi yang menekankan keandalan proses, keselamatan produksi, konsistensi mutu, dan bukti data sebagai nilai utama dalam membangun kepercayaan pelanggan industri.

Kata Kunci : dumping material panas, konsistensi proses, otomasi, strategi B2B, industri kimia

PENDAHULUAN

Industri kimia memiliki proses produksi yang menuntut pengendalian yang ketat karena setiap tahapan kerja dapat memengaruhi keselamatan, kestabilan proses, dan mutu produk akhir. Salah satu tahapan yang penting untuk diperhatikan adalah proses dumping material panas, yaitu aktivitas penuangan material bersuhu tinggi dari wadah menuju proses lanjutan. Proses ini tidak hanya berhubungan dengan pemindahan material, tetapi juga berkaitan dengan durasi penuangan, kestabilan alur material, dan perubahan suhu material selama proses berlangsung.

Pada proses manual, aktivitas dumping material panas memiliki risiko yang cukup tinggi. Operator dapat berhadapan langsung dengan material panas, wadah yang rentan pecah, beban kerja fisik, serta tuntutan ketelitian gerakan saat penuangan. Saputra et al. (2021) menjelaskan bahwa aktivitas manual material handling perlu dievaluasi karena dapat menimbulkan risiko ergonomi dan gangguan muskuloskeletal. Dalam proses dumping material panas, risiko tersebut menjadi lebih kompleks karena terdapat kombinasi antara beban fisik, paparan panas, dan potensi variasi gerakan operator.

Konsistensi proses menjadi aspek penting dalam aktivitas dumping material panas karena proses yang tidak stabil dapat menimbulkan variasi antar batch. Konsistensi proses dalam penelitian ini dilihat melalui tiga indikator utama, yaitu waktu dumping, kestabilan

alur penuangan, dan perubahan suhu material atau ΔT material. Waktu dumping menunjukkan durasi proses penuangan, kestabilan alur penuangan menunjukkan keteraturan aliran material, sedangkan ΔT material menunjukkan perubahan suhu material selama proses berlangsung.

Secara teoretis, konsistensi proses dapat dipahami sebagai kemampuan proses produksi untuk berjalan secara stabil, berulang, dan terkendali dari satu batch ke batch berikutnya. Proses dumping material panas dapat dikatakan konsisten apabila waktu penuangan relatif seragam, alur penuangan berlangsung stabil, dan perubahan suhu material tetap berada dalam batas yang terkendali. Sebaliknya, apabila durasi proses terlalu bervariasi, alur penuangan tidak stabil, dan ΔT material tidak terkendali, maka proses menunjukkan adanya variasi yang perlu diperbaiki.

Perkembangan teknologi manufaktur modern mendorong perusahaan untuk melakukan pengendalian proses secara lebih terstruktur. Arana-Landín et al. (2023) menjelaskan bahwa penerapan teknologi Industry 4.0 dapat memengaruhi keselamatan dan kesehatan kerja, terutama ketika teknologi digunakan untuk mengurangi paparan pekerja terhadap risiko operasional. Hal ini relevan dengan proses dumping material panas karena pengendalian proses tidak hanya bertujuan meningkatkan efisiensi, tetapi juga mengurangi keterlibatan langsung operator pada area kerja berisiko.

Dalam sistem produksi modern, keselamatan kerja dan konsistensi proses tidak dapat dipisahkan. Giallanza et al. (2024) menegaskan bahwa penerapan sistem otomasi dan human-robot collaboration di lingkungan industri harus memperhatikan occupational health and safety. Huck et al. (2021) juga menjelaskan bahwa penilaian risiko pada sistem kerja yang melibatkan manusia dan mesin perlu dilakukan secara sistematis agar potensi bahaya dapat dikendalikan. Oleh karena itu, proses dumping material panas perlu dikaji bukan hanya sebagai aktivitas teknis, tetapi sebagai bagian dari sistem kerja yang harus aman, stabil, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Dari perspektif profesionalisme keinsinyuran, pengendalian proses harus didasarkan pada data, bukan hanya pada pengalaman atau asumsi. Seorang insinyur profesional dituntut mampu membaca kondisi proses, menggunakan data sebagai dasar evaluasi, mengidentifikasi variasi, dan merumuskan solusi yang aman serta bermanfaat bagi organisasi. Hanna et al. (2022) menekankan pentingnya rancangan keselamatan yang mempertimbangkan regulasi, tanggung jawab, dan pengambilan keputusan dalam sistem industri cerdas. Dengan demikian, penggunaan data 20 batch pada proses dumping

material panas menjadi penting untuk menunjukkan bahwa evaluasi dilakukan secara terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Kajian mengenai otomasi dan sistem kerja modern menunjukkan bahwa teknologi dapat membantu mengurangi variasi kerja manual dan meningkatkan keteraturan proses. Javaid et al. (2022) menjelaskan bahwa cobot dan sistem otomasi memiliki aplikasi penting dalam manufaktur, terutama pada pekerjaan yang membutuhkan pengulangan, ketelitian, dan pengurangan keterlibatan manusia pada aktivitas berisiko. Dalam penelitian ini, fokus utama bukan pada desain robot atau desain alat, melainkan pada bagaimana data proses dumping material panas digunakan untuk menilai konsistensi proses dan merumuskan strategi bisnis yang relevan.

Selain memiliki dampak operasional, konsistensi proses juga memiliki nilai strategis dalam pasar B2B. Pada industri kimia, pelanggan industri tidak hanya menilai produk berdasarkan harga, tetapi juga memperhatikan kemampuan pemasok dalam menjaga stabilitas proses, konsistensi mutu, keselamatan produksi, dan keandalan pasokan. Krimi et al. (2024) menjelaskan bahwa rantai pasok kimia B2B perlu memperhatikan resiliensi, keberlanjutan, dan keandalan proses. Dengan demikian, proses dumping material panas yang lebih konsisten dapat menjadi dasar untuk membangun kepercayaan pelanggan industri.

Tekanan dari pelanggan dan persaingan pasar juga dapat mendorong perusahaan untuk memperbaiki proses produksinya. Uddin dan Jayaram (2025) menunjukkan bahwa tekanan pembeli dan kompetisi dapat mendorong implementasi otomasi manufaktur serta peningkatan kapabilitas operasional pemasok. Dalam penelitian ini, data konsistensi proses dumping material panas dapat digunakan sebagai bukti bahwa perusahaan memiliki kemampuan mengendalikan proses produksi secara lebih baik. Bukti tersebut dapat menjadi bahan komunikasi teknis kepada pelanggan B2B, terutama pelanggan yang membutuhkan pemasok dengan proses yang stabil dan terdokumentasi.

Strategi B2B berbasis konsistensi proses dapat dirumuskan dengan menempatkan keandalan proses sebagai nilai utama. Kowalkowski et al. (2024) menjelaskan bahwa inovasi dalam pasar B2B berkaitan dengan kemampuan perusahaan menciptakan nilai melalui solusi yang relevan bagi pelanggan. Hasil analisis waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material dapat diterjemahkan menjadi strategi B2B berupa strategi berbasis keandalan proses, yaitu strategi yang menekankan konsistensi mutu,

keselamatan produksi, kredibilitas pemasok, dan kemampuan perusahaan dalam menjaga hubungan bisnis jangka panjang.

Dalam industri kimia, kesiapan perusahaan untuk menerapkan proses yang lebih stabil dan terukur juga sejalan dengan kebutuhan transformasi industri. Sulistyono et al. (2025) menjelaskan bahwa kesiapan Lean 4.0 pada sektor kimia perlu memperhatikan integrasi antara praktik lean, kesiapan teknologi, dan kebutuhan industri. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian proses dumping material panas berbasis data dapat menjadi bagian dari upaya perusahaan menuju proses produksi yang lebih modern, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih membahas otomasi manufaktur pada tingkat umum, keselamatan human-robot collaboration, kesiapan Industry 4.0, atau hubungan pemasok-pelanggan secara terpisah. Xu et al. (2025) menunjukkan bahwa studi otomasi masih memerlukan pengujian empiris dan kualitas data proses yang lebih kuat, sedangkan Urbaniak et al. (2024) menekankan bahwa pelanggan manufaktur mengharapkan pemasok melakukan perbaikan operasional yang terukur. Belum banyak penelitian yang secara spesifik mengevaluasi implementasi otomasi pada proses dumping material panas menggunakan data batch aktual dan menghubungkan indikator konsistensi proses dengan nilai strategis B2B. Kondisi tersebut menjadi research gap penelitian ini.

Novelty penelitian ini terletak pada integrasi evaluasi teknis berbasis data primer 20 batch melalui tiga indikator proses seperti: waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material, dengan perumusan process reliability-based B2B strategy. Dengan demikian, hasil evaluasi tidak berhenti pada pembuktian peningkatan konsistensi proses, tetapi diterjemahkan menjadi bukti keandalan pemasok yang dapat digunakan dalam komunikasi teknis, audit pelanggan, dan pembangunan kepercayaan B2B.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis konsistensi proses dumping material panas berdasarkan data 20 batch. Konsistensi proses dianalisis melalui waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk merumuskan strategi B2B yang menekankan keandalan proses, konsistensi mutu, keselamatan produksi, dan kepercayaan pelanggan industri.

Rumusan teori dalam penelitian ini dibangun dari dua hubungan utama. Pertama, konsistensi proses dumping material panas dipahami melalui kestabilan waktu dumping,

keteraturan alur penuangan, dan pengendalian ΔT material. Kedua, konsistensi proses tersebut dapat menjadi dasar strategi B2B karena proses yang stabil, aman, dan terdokumentasi mampu memperkuat kepercayaan pelanggan serta meningkatkan posisi perusahaan sebagai pemasok industri yang andal. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan bahwa data proses tidak hanya berguna untuk evaluasi teknis, tetapi juga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan profesional dan perumusan strategi B2B.

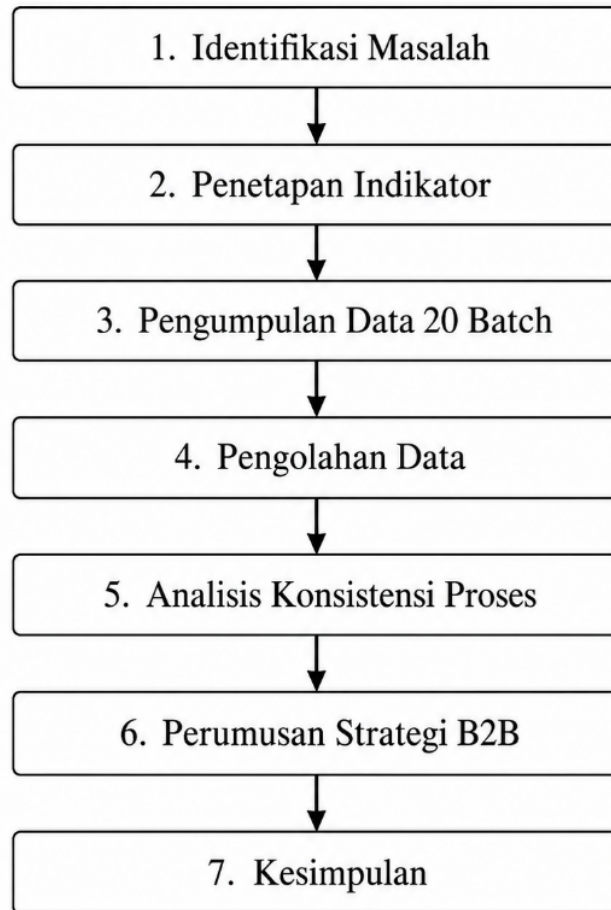
METODE

Penelitian ini merupakan evaluasi implementasi otomasi yang menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif-kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena penelitian mengevaluasi perubahan kinerja proses dumping material panas pada konteks operasi nyata dengan membandingkan kondisi manual dan otomasi. Analisis dilakukan untuk menilai konsistensi proses melalui tiga indikator utama, yaitu waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan perubahan suhu material atau ΔT material. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar perumusan strategi B2B berbasis keandalan proses.

Objek studi kasus adalah tahap transfer dan dumping material panas berbentuk powder dari wadah menuju unit proses lanjutan (mixer) pada salah satu lini produksi di industri kimia berlokasi di Cikarang Bekasi, Jawa Barat. Unit analisis penelitian adalah batch proses, dengan dua kondisi operasi yang dibandingkan, yaitu dumping manual dan dumping otomasi. Batas studi dimulai ketika material siap dipindahkan dari wadah dan berakhir setelah material selesai dituang menuju proses berikutnya. Fokus penelitian tidak diarahkan pada perancangan mekanis robot, tetapi pada evaluasi implementasi otomasi berdasarkan konsistensi waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material, serta pemanfaatan hasil evaluasi sebagai dasar strategi B2B.

Data penelitian merupakan data primer yang diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan, dokumentasi proses produksi, dan pencatatan parameter pada 20 batch yang mencakup kondisi manual dan otomasi. Data sekunder berupa jurnal ilmiah digunakan sebagai landasan teori dan untuk menafsirkan implikasi teknis, keselamatan, serta strategi B2B. Waktu dumping dicatat dalam satuan detik. Suhu awal dan suhu akhir material digunakan untuk menghitung perubahan suhu selama proses dumping. Kestabilan alur penuangan dinilai menggunakan skala 1–5 berdasarkan keteraturan dan kontinuitas aliran material selama proses berlangsung.

Tahapan penelitian disusun secara sistematis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart metodologi penelitian

Sumber: Diolah penulis, 2026

Variabel, indikator, sumber data, dan tujuan analisis penelitian disajikan pada Tabel 1. Penelitian ini berfokus pada konsistensi proses dumping material panas yang dilihat dari waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material. Hasil analisis ketiga indikator tersebut kemudian digunakan untuk merumuskan strategi B2B berbasis keandalan proses dan kepercayaan pelanggan industri.

Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif sederhana untuk melihat pola dan tingkat variasi proses. Parameter yang digunakan meliputi rata-rata, rentang, standar deviasi, koefisien variasi, serta ΔT material. Rumus pengolahan data ditampilkan pada Tabel 2. Semakin kecil variasi waktu dumping dan ΔT material, serta semakin stabil alur penuangan, maka proses dapat dinilai semakin konsisten.

Tabel 1. Variabel, Indikator, dan Sumber Data Penelitian

Variabel Penelitian	Indikator	Satuan/Kategori	Sumber Data
Konsistensi proses dumping material panas	Waktu dumping	Detik/menit	Data 20 batch proses
Konsistensi proses dumping material panas	Kestabilan alur penuangan	Stabil, cukup stabil, kurang stabil	Observasi proses dan dokumentasi produksi
Konsistensi proses dumping material panas	ΔT material	$^{\circ}C$	Data suhu awal dan suhu akhir material
Strategi B2B	Keandalan proses	Naratif-strategis	Hasil analisis konsistensi proses
Strategi B2B	Kepercayaan pelanggan industri	Naratif-strategis	Interpretasi hasil proses

Tabel 2. Rumus Pengolahan Data

Parameter	Rumus	Keterangan
Rata-rata	$\bar{x} = \Sigma x / n$	Menunjukkan nilai rata-rata dari 20 batch
Rentang	$R = X_{max} - X_{min}$	Menunjukkan selisih nilai tertinggi dan terendah
Standar deviasi	$SD = \sqrt{[\Sigma(x - \bar{x})^2 / (n - 1)]}$	Menunjukkan tingkat penyebaran data
Koefisien variasi	$CV = (SD / \bar{x}) \times 100\%$	Menunjukkan tingkat variasi relatif proses
Perubahan suhu	$\Delta T = T_{awal} - T_{akhir}$	Menunjukkan perubahan suhu material selama proses dumping

Hasil analisis konsistensi proses digunakan sebagai dasar untuk merumuskan strategi B2B. Proses yang memiliki waktu dumping lebih seragam, alur penuangan lebih stabil, dan ΔT material lebih terkendali dapat dijadikan bukti bahwa perusahaan memiliki kemampuan mengendalikan proses produksi secara lebih baik. Bukti ini kemudian diterjemahkan menjadi nilai strategis bagi pelanggan industri.

Strategi B2B dirumuskan melalui pendekatan process reliability-based strategy. Strategi ini menekankan bahwa keandalan proses produksi dapat menjadi nilai utama

dalam hubungan bisnis antarperusahaan. Dalam pasar B2B, pelanggan industri tidak hanya membutuhkan produk yang sesuai spesifikasi, tetapi juga pemasok yang mampu menjaga konsistensi mutu, keselamatan proses, keandalan pasokan, dan dokumentasi pengendalian produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Proses Manual Dumping Material Panas

Proses dumping material panas secara manual ditunjukkan pada Gambar 2. Pada proses ini, operator melakukan aktivitas pengambilan, pemindahan, dan penuangan material secara langsung. Operator berada dekat dengan area kerja yang menghasilkan panas dan uap, sehingga proses manual memiliki potensi risiko terhadap keselamatan kerja. Selain itu, proses ini juga membutuhkan tenaga fisik, konsentrasi, dan ketelitian gerakan karena keberhasilan penuangan dipengaruhi oleh posisi wadah, sudut penuangan, kecepatan operator, serta kestabilan aliran material.



Gambar 2. Area Kerja dan Aktivitas operator dalam proses dumping manual

Sumber: Dokumentasi penulis, 2026

Proses manual menunjukkan adanya kontak langsung operator dengan wadah dan area material panas. Kondisi ini dapat menimbulkan risiko ergonomi karena operator melakukan gerakan mengangkat, memiringkan, dan menuang secara berulang. Saputra et al. (2021) menjelaskan bahwa aktivitas manual material handling perlu dievaluasi karena

berkaitan dengan beban kerja fisik dan risiko gangguan muskuloskeletal. Pada proses dumping material panas, risiko tersebut menjadi lebih tinggi karena operator tidak hanya menghadapi beban fisik, tetapi juga paparan panas dan kemungkinan variasi gerakan antar batch.

Dari sisi konsistensi proses, aktivitas manual memiliki kelemahan karena sangat bergantung pada kondisi operator. Kecepatan kerja, ketahanan fisik, pengalaman, dan ketepatan gerakan operator dapat berbeda pada setiap batch. Perbedaan tersebut berpotensi menyebabkan variasi waktu dumping, ketidakstabilan alur penuangan, dan perubahan suhu material yang tidak seragam. Oleh karena itu, proses manual perlu dianalisis secara lebih terukur melalui data batch agar variasi proses dapat diketahui dan dikendalikan.

Gambaran Proses Otomasi Dumping Material Panas

Proses otomasi dumping material panas ditunjukkan pada Gambar 3. Pada proses otomasi, aktivitas pengambilan dan penuangan material dilakukan dengan bantuan sistem robot dan gripper. Sistem ini memungkinkan beberapa wadah ditangani secara lebih terarah, dengan pola gerakan yang lebih berulang dan terkendali. Peran operator tidak lagi sebagai pelaksana langsung penuangan, tetapi lebih diarahkan sebagai pengawas proses dari area yang lebih aman.



Gambar 3. Sistem otomasi pada proses dumping material panas

Sumber: Dokumentasi penulis, 2026

Berdasarkan Gambar 3, otomasi dumping material panas menunjukkan adanya perubahan cara kerja dari aktivitas manual menjadi proses yang lebih terstandar. Robot dan gripper menjalankan proses pengambilan, pemindahan, dan penuangan material dengan urutan kerja yang lebih tetap. Hal ini membantu mengurangi variasi akibat faktor manusia, terutama variasi kecepatan, sudut penuangan, dan kestabilan gerakan. Javaid et al. (2022) menjelaskan bahwa sistem otomasi dan cobot dalam manufaktur berperan penting pada pekerjaan berulang, membutuhkan ketelitian, dan memiliki risiko bagi operator.

Penerapan otomasi juga berkaitan dengan pengendalian keselamatan kerja. Arana-Landín et al. (2023) menunjukkan bahwa teknologi Industry 4.0 dapat berkontribusi terhadap keselamatan dan kesehatan kerja apabila digunakan untuk mengurangi paparan pekerja terhadap risiko operasional. Giallanza et al. (2024) juga menegaskan bahwa penerapan sistem otomasi dan human-robot collaboration perlu memperhatikan pengendalian risiko agar teknologi benar-benar mendukung keselamatan pekerja. Dalam proses dumping material panas, otomasi menjadi relevan karena dapat mengurangi keterlibatan langsung operator pada area panas dan berisiko.

Analisis Konsistensi Waktu Dumping

Hasil analisis data 20 batch menunjukkan bahwa proses manual memiliki rata-rata waktu dumping sebesar 49,14 detik dengan standar deviasi 6,11 detik dan koefisien variasi 12,44%. Pada proses otomasi atau proses terstandarisasi, rata-rata waktu dumping menurun menjadi 30,18 detik dengan standar deviasi 0,41 detik dan koefisien variasi 1,36%. Penurunan rata-rata waktu dumping sebesar 38,6% menunjukkan bahwa proses menjadi lebih cepat, sedangkan penurunan koefisien variasi menunjukkan bahwa proses menjadi lebih konsisten antar batch.

Secara teknis, waktu dumping yang lebih seragam menunjukkan bahwa proses lebih mudah diprediksi. Hal ini penting dalam industri kimia karena setiap tahapan proses saling berkaitan dengan tahapan berikutnya. Apabila waktu dumping terlalu bervariasi, maka kondisi material yang masuk ke proses lanjutan dapat berbeda-beda. Sebaliknya, waktu dumping yang lebih stabil dapat membantu menjaga keteraturan alur produksi. Huck et al. (2021) menekankan pentingnya risk assessment pada sistem kerja manusia-mesin agar penerapan teknologi dapat mendukung operasi yang lebih aman dan terkendali.

Tabel 3. Statistik Proses Manual dan Otomasi Berdasarkan 20 Batch

Indikator	Satuan	Manual	Otomasi	Perubahan
Waktu dumping	Detik	49,14 ± 6,11	30,18 ± 0,41	Turun 38,6%
CV waktu dumping	%	12,44	1,36	Variasi menurun
Kestabilan alur penuangan	Skor 1–5	2,55 ± 0,51	4,70 ± 0,47	Naik 84,3%
CV kestabilan alur	%	20,02	10,00	Variasi menurun
ΔT material	°C	15,26 ± 2,43	8,16 ± 0,37	Turun 46,5%
CV ΔT material	%	15,92	4,58	Variasi menurun
Tingkat batch konsisten	%	0,0	90,0	Naik 90 poin persentase

Berdasarkan Tabel 3, proses otomasi menunjukkan hasil yang lebih baik pada seluruh indikator. Waktu dumping menjadi lebih singkat dan lebih seragam, alur penuangan menjadi lebih stabil, serta ΔT material menjadi lebih rendah dan lebih terkendali. Selain itu, tingkat batch konsisten meningkat dari 0,0% menjadi 90,0%. Hal ini menunjukkan bahwa proses otomasi memiliki kemampuan lebih baik dalam menjaga keterulangan proses.

Peningkatan konsistensi ini selaras dengan konsep modern production system yang menekankan keteraturan proses, integrasi teknologi, dan pengurangan variasi kerja. Hanna et al. (2022) menjelaskan bahwa sistem industri cerdas memerlukan pengaturan keselamatan dan tanggung jawab yang jelas agar teknologi dapat diterapkan secara efektif. Dalam penelitian ini, otomasi dumping material panas dapat dipahami sebagai bentuk pengendalian proses yang menggabungkan aspek keselamatan, standardisasi, dan keterukuran data.

Analisis Kestabilan Alur Penuangan

Kestabilan alur penuangan pada proses manual memiliki rata-rata skor 2,55 dari skala 1–5. Pada proses otomasi, skor kestabilan alur meningkat menjadi 4,70. Peningkatan sebesar 84,3% menunjukkan bahwa aliran material menjadi lebih terarah, lebih stabil, dan lebih mudah diulang antar batch. Hal ini menunjukkan bahwa proses otomasi mampu mengurangi variasi gerakan yang sebelumnya dipengaruhi oleh operator.

Kestabilan alur penuangan penting karena material panas perlu masuk ke proses berikutnya dalam kondisi yang teratur. Apabila alur penuangan tidak stabil, material dapat mengalir tidak merata, terjadi hambatan, atau operator perlu melakukan koreksi manual. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko keselamatan dan menyebabkan gangguan proses. Karagiannis et al. (2022) menjelaskan bahwa pengaturan zona kerja, kecepatan, dan pemisahan area dalam sistem robotik dapat membantu menciptakan operasi yang lebih aman dan efektif.

Dalam proses manual, ketidakstabilan alur penuangan dapat terjadi karena sudut wadah tidak sama, gerakan operator tidak konstan, atau operator menyesuaikan posisi penuangan secara spontan. Pada proses otomasi, gerakan dapat dirancang lebih tetap sehingga alur penuangan menjadi lebih konsisten. Hal ini memperlihatkan bahwa otomasi memberikan kontribusi terhadap standarisasi aktivitas kerja, bukan hanya pada peningkatan kecepatan proses.

Analisis Perubahan Suhu Material atau ΔT

Perubahan suhu material atau ΔT menjadi indikator penting karena proses dumping material panas berhubungan dengan kondisi material sebelum masuk ke proses berikutnya. Berdasarkan data 20 batch, rata-rata ΔT pada proses manual adalah $15,26^{\circ}\text{C}$ dengan standar deviasi $2,43^{\circ}\text{C}$ dan koefisien variasi $15,92\%$. Pada proses otomasi, rata-rata ΔT menurun menjadi $8,16^{\circ}\text{C}$ dengan standar deviasi $0,37^{\circ}\text{C}$ dan koefisien variasi $4,58\%$. Penurunan rata-rata ΔT sebesar $46,5\%$ menunjukkan bahwa material mengalami kehilangan panas yang lebih kecil dan lebih terkendali.

ΔT yang lebih terkendali menunjukkan bahwa proses dumping berlangsung lebih stabil. Pada proses manual, waktu penuangan yang lebih lama dan tidak seragam dapat menyebabkan kehilangan panas yang lebih besar. Pada proses otomasi, durasi dumping yang lebih singkat dan alur penuangan yang lebih stabil membantu menjaga suhu material agar tidak turun terlalu besar. Dengan demikian, pengendalian ΔT tidak hanya berkaitan dengan suhu, tetapi juga dengan kecepatan, kestabilan alur, dan keteraturan proses.

Kondisi suhu yang lebih stabil penting bagi industri kimia karena material yang masuk ke proses lanjutan perlu berada pada kondisi yang relatif terkendali. Apabila suhu material terlalu bervariasi, maka proses berikutnya dapat mengalami perbedaan kondisi awal. Oleh karena itu, ΔT material menjadi indikator penting dalam menilai konsistensi proses dumping material panas.

Implikasi terhadap Strategi B2B

Hasil teknis dari data 20 batch dapat diterjemahkan menjadi strategi B2B berbasis keandalan proses. Pada pasar B2B, pelanggan industri tidak hanya menilai produk akhir, tetapi juga memperhatikan kemampuan pemasok dalam menjaga stabilitas proses, konsistensi mutu, keselamatan produksi, dan keandalan pasokan. Krimi et al. (2024) menjelaskan bahwa rantai pasok kimia B2B perlu memperhatikan resiliensi, keberlanjutan, dan keandalan proses. Oleh karena itu, konsistensi dumping material panas dapat menjadi dasar untuk memperkuat kepercayaan pelanggan industri.

Strategi B2B yang dapat dirumuskan adalah *process reliability-based B2B strategy*. Strategi ini menempatkan keandalan proses sebagai pesan utama kepada pelanggan. Perusahaan dapat menggunakan data teknis seperti penurunan waktu dumping, penurunan ΔT , peningkatan kestabilan alur, dan peningkatan batch konsisten sebagai bukti bahwa proses produksi lebih terkendali. Kowalkowski et al. (2024) menjelaskan bahwa inovasi B2B berkaitan dengan kemampuan perusahaan menciptakan nilai melalui solusi yang relevan bagi pelanggan. Dalam penelitian ini, nilai tersebut muncul melalui bukti proses yang aman, stabil, dan terdokumentasi.

Uddin dan Jayaram (2025) menunjukkan bahwa tekanan pelanggan dan persaingan dapat mendorong pemasok untuk menerapkan otomasi manufaktur dan meningkatkan kapabilitas operasional. Hal ini memperkuat argumen bahwa perbaikan proses dumping material panas tidak hanya berdampak pada internal produksi, tetapi juga dapat digunakan sebagai nilai komunikasi kepada pelanggan B2B. Pelanggan industri cenderung lebih percaya kepada pemasok yang mampu menunjukkan data proses, bukan hanya klaim kualitas.

Berdasarkan Tabel 4, strategi B2B yang dihasilkan tidak hanya berisi pesan pemasaran, tetapi dibangun dari bukti teknis proses. Hal ini penting karena pelanggan industri membutuhkan pemasok yang mampu menunjukkan stabilitas proses secara nyata. Data konsistensi proses dapat digunakan sebagai materi komunikasi teknis, bahan audit pelanggan, dan dasar peningkatan kepercayaan dalam hubungan bisnis jangka panjang.

Konsistensi proses dumping material panas juga berkaitan dengan transformasi industri kimia menuju proses yang lebih modern dan terukur. Sulistyono et al. (2024) menjelaskan bahwa kesiapan Lean 4.0 pada sektor kimia perlu memperhatikan integrasi antara praktik lean, kesiapan teknologi, dan kebutuhan industri. Dalam penelitian ini,

otomasi dumping material panas dapat dipahami sebagai bagian dari upaya menuju proses yang lebih lean, aman, dan berbasis data.

Tabel 4. Rumusan Strategi B2B

Temuan Proses	Bukti Data	Strategi B2B	Pesan Nilai untuk Pelanggan Industri
Waktu dumping lebih stabil	CV waktu turun dari 12,44% menjadi 1,36%	Process reliability	Proses produksi lebih terukur, repeatable, dan mudah dijadwalkan
Alur penuangan lebih stabil	Skor alur naik dari 2,55 menjadi 4,70	Quality assurance	Aliran material menuju proses berikutnya lebih terkendali
ΔT material lebih terkendali	Rata-rata ΔT turun dari 15,26°C menjadi 8,16°C	Process control evidence	Stabilitas suhu menjadi bukti pengendalian proses
Batch konsisten meningkat	Konsistensi naik dari 0,0% menjadi 90,0%	Customer trust	Kepercayaan pelanggan dibangun melalui data konsistensi antar batch
Risiko kerja lebih rendah	Operator tidak lagi dominan melakukan koreksi manual pada area panas	Safety assurance	Perusahaan menunjukkan komitmen terhadap keselamatan dan keberlanjutan proses

Penerapan otomasi tidak perlu hanya dipahami sebagai penggunaan alat, tetapi sebagai perubahan cara perusahaan mengelola proses. Data 20 batch menunjukkan bahwa pengendalian proses dapat memberikan bukti peningkatan konsistensi. Bukti tersebut dapat digunakan oleh perusahaan untuk memperbaiki standar kerja, menyusun dokumen teknis, mendukung audit pelanggan, serta memperkuat daya saing di pasar B2B.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa konsistensi proses dumping material panas merupakan aspek penting dalam pengendalian proses pada industri kimia. Berdasarkan analisis data 20 batch, proses otomasi menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan proses manual, terutama pada indikator waktu dumping, kestabilan alur penuangan, dan ΔT material. Waktu dumping menjadi lebih singkat dan seragam, alur penuangan lebih stabil, serta perubahan suhu material lebih terkendali. Peralihan dari proses manual ke proses otomasi mampu mengurangi variasi proses yang sebelumnya banyak dipengaruhi

oleh faktor manusia, seperti kecepatan kerja, ketelitian gerakan, sudut penuangan, dan kondisi fisik operator. Selain itu, proses otomasi juga membantu mengurangi keterlibatan langsung operator pada area panas dan berisiko, sehingga proses kerja menjadi lebih aman, terstruktur, dan mudah dikendalikan.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa konsistensi proses dapat dijadikan dasar dalam perumusan strategi B2B. Proses yang lebih stabil, aman, dan terdokumentasi dapat memperkuat kepercayaan pelanggan industri karena menunjukkan bahwa perusahaan memiliki kemampuan dalam menjaga keandalan proses dan konsistensi mutu. Strategi B2B yang dapat dirumuskan adalah strategi berbasis process reliability, yaitu strategi yang menempatkan keandalan proses, keselamatan produksi, konsistensi mutu, dan bukti data sebagai nilai utama dalam membangun hubungan bisnis jangka panjang dengan pelanggan industri.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa konsistensi proses dumping material panas tidak hanya memiliki manfaat teknis dan operasional, tetapi juga memiliki nilai strategis bagi industri kimia. Data proses dapat digunakan sebagai dasar evaluasi teknis, pengendalian proses, dan penguatan daya saing perusahaan dalam pasar B2B. Oleh karena itu, pengendalian proses berbasis data perlu terus dikembangkan agar perusahaan mampu menjaga keselamatan, konsistensi, dan kepercayaan pelanggan secara berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan jumlah batch yang lebih besar serta memasukkan indikator mutu produk lainnya, seperti homogenitas, flowability, appearance, reject, atau rework. Dengan data yang lebih lengkap, hubungan antara konsistensi proses dumping material panas dan strategi B2B dapat dianalisis secara lebih mendalam.

DAFTAR REFERENSI

- 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>
- 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>

- 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>
- 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>
- Huck, T., Münch, N., Hornung, L., Ledermann, C., & Wurl, 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>
- 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>
- Jocelyn, S., Ledoux, E., Marrero, I. A., Bulet-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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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/JOSM-12-2022-0403>
- 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>
- 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>

- 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>
- Rahdiana, N., Suhardi, B., Damayanti, R. W., Susanto, N., & Rohani, J. M. (2024). 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. <https://doi.org/10.25077/josi.v23.n2.p130-148.2024>
- Saputra, A. A., Wahyudin, & Nugraha, A. E. (2021). Evaluasi aktivitas manual material handling dengan menggunakan metode biomekanika kerja pada pengangkatan thinner di bagian warehouse. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 23(2), 233–244. <https://doi.org/10.32734/jsti.v23i2.6273>
- Sulistyo, A. B., Karningsih, P. D., & Alvandi, S. (2024). Developing an industry-specific Lean 4.0 readiness assessment tool: A case for the chemical sector. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 23(2), 283–298. <https://doi.org/10.25077/josi.v23.n2.p283-298.2024>
- 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>
- Urbaniak, M., Zimon, D., & Madzík, P. (2024). Expectations of manufacturing companies towards suppliers in terms of implementing improvement activities. *Central European Management Journal*, 32(4), 618–637. <https://doi.org/10.1108/CEMJ-07-2023-0286>
- Xu, L., Zou, Y., Lu, Y., & Chang-Richards, A. (2025). Automation in manufacturing and assembly of industrialised construction. *Automation in Construction*, 170, 105945. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105945>