

Analisis Human Error pada Proses Pemotongan Coil Produksi Guardrail Menggunakan HEART dan SHERPA

Ratih Wahyu Murti, Arniatin, Ranti Priskayanti

Universitas Prof. Dr. Moestopo (Beragama), Jakarta, Indonesia
ratihwmurti@dsn.moestopo.ac.id

Abstract

Human error is one of the dominant factors contributing to product defects in manufacturing industries, particularly in processes that rely heavily on manual operations and operator judgment. PT Nusantara Steel, a company engaged in guardrail manufacturing, experiences a relatively high number of defective products in the guardrail part beam production, especially during the coil cutting stage. This study aims to identify critical human errors, quantify their probability, and propose corrective actions to reduce product defects using the Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) and the Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). The research employed a quantitative descriptive approach by conducting field observations, interviews with production operators, and task analysis using Hierarchical Task Analysis (HTA). The results show that four main tasks and six critical subtasks were identified in the coil cutting process. Among these, the most critical activity was pressing the roll machine ON button and ensuring the coil sheet was positioned correctly on the stopper, with a Human Error Probability (HEP) value of 1.6831, categorized as high risk. After implementing improvement recommendations derived from the SHERPA analysis, the HEP value decreased significantly to 0.48552. These findings indicate that the combined application of HEART and SHERPA is effective in reducing human error probability and minimizing defective products in guardrail manufacturing processes.

Keywords: human error; HEART; SHERPA; guardrail production; coil cutting

Abstrak

Human error merupakan salah satu faktor dominan yang menyebabkan terjadinya cacat produk pada industri manufaktur, khususnya pada proses produksi yang masih bergantung pada aktivitas manual dan ketelitian operator. PT Nusantara Steel sebagai perusahaan manufaktur guardrail mengalami tingkat produk cacat yang relatif tinggi pada produksi guardrail part beam, terutama pada tahap pemotongan coil. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas kerja kritis, mengukur probabilitas terjadinya human error, serta merumuskan usulan perbaikan guna menurunkan tingkat produk cacat dengan menggunakan metode Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) dan Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif melalui observasi lapangan, wawancara dengan operator produksi, serta analisis tugas menggunakan Hierarchical Task Analysis (HTA). Hasil penelitian menunjukkan terdapat empat task utama dan enam subtask kritis pada proses pemotongan coil. Aktivitas paling berisiko adalah menekan tombol ON mesin roll dan memastikan posisi coil tepat pada stopper dengan nilai Human Error Probability (HEP) sebesar 1,6831 yang termasuk kategori tinggi. Setelah penerapan rekomendasi perbaikan berdasarkan analisis SHERPA, nilai HEP menurun secara signifikan menjadi 0,48552. Temuan ini membuktikan bahwa kombinasi metode HEART dan SHERPA efektif dalam mengurangi probabilitas human error dan menekan tingkat produk cacat pada proses produksi guardrail.

Kata Kunci: human error; HEART; SHERPA; produksi guardrail; pemotongan coil

PENDAHULUAN

Industri manufaktur baja merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur, transportasi, dan keselamatan jalan. Salah satu produk yang banyak digunakan dalam infrastruktur transportasi adalah guardrail, yang berfungsi sebagai pengaman jalan untuk mengurangi tingkat fatalitas kecelakaan lalu lintas. Kualitas guardrail menjadi

aspek krusial karena produk ini secara langsung berkaitan dengan keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, setiap tahapan proses produksi guardrail harus dikendalikan secara ketat agar memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan [1].

Dalam praktiknya, proses produksi di industri manufaktur baja masih banyak melibatkan aktivitas manual dan intervensi operator, terutama pada perusahaan yang menggunakan mesin semi-otomatis. Kondisi ini menjadikan faktor manusia (human factor) sebagai salah satu penentu utama keberhasilan proses produksi. Kesalahan manusia atau human error sering kali menjadi penyebab utama terjadinya cacat produk, penurunan produktivitas, kecelakaan kerja, hingga kerugian finansial bagi perusahaan [2]. Human error tidak selalu disebabkan oleh kelalaian individu semata, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh desain sistem kerja, prosedur operasi, lingkungan kerja, serta beban kerja yang dihadapi operator [3].

Human error didefinisikan sebagai kegagalan manusia dalam melakukan suatu tindakan yang seharusnya dilakukan atau melakukan tindakan yang tidak semestinya, sehingga menyebabkan penyimpangan dari tujuan sistem [4]. Dalam konteks industri manufaktur, human error dapat terjadi pada berbagai tahapan proses, mulai dari pengoperasian mesin, pengaturan material, hingga pengambilan keputusan selama proses produksi berlangsung. Apabila tidak dikelola dengan baik, human error dapat berdampak signifikan terhadap kualitas produk dan keselamatan kerja.

PT Nusantara Steel merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi guardrail. Berdasarkan laporan penelitian, perusahaan ini masih menghadapi permasalahan tingkat produk cacat yang relatif tinggi, khususnya pada proses pemotongan coil untuk produksi guardrail part beam. Proses pemotongan coil merupakan tahapan awal yang sangat menentukan kualitas produk akhir, karena kesalahan pada tahap ini dapat menyebabkan dimensi yang tidak sesuai, kerusakan material, dan kegagalan proses lanjutan [5]. Tingginya tingkat cacat pada proses ini mengindikasikan adanya potensi human error yang belum teridentifikasi dan dikendalikan secara sistematis.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk menganalisis dan mengurangi human error dalam sistem kerja. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART). Metode HEART digunakan untuk mengidentifikasi jenis aktivitas kerja, menentukan Error Producing Conditions (EPCs), serta menghitung probabilitas terjadinya kesalahan manusia atau Human Error Probability (HEP) secara kuantitatif [6]. Keunggulan HEART terletak pada kemampuannya dalam memberikan nilai probabilistik yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perbaikan sistem kerja.

Meskipun HEART efektif dalam mengukur tingkat probabilitas human error, metode ini memiliki keterbatasan dalam merumuskan langkah perbaikan secara sistematis. Oleh karena itu, HEART sering dikombinasikan dengan metode lain yang berfokus pada identifikasi jenis kesalahan dan strategi pencegahannya. Salah satu metode yang relevan adalah Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). Metode SHERPA digunakan untuk mengidentifikasi mode kesalahan, konsekuensi kesalahan, serta merumuskan tindakan pengendalian atau mitigasi yang sesuai [7]. Kombinasi HEART dan SHERPA memungkinkan analisis human error dilakukan secara lebih komprehensif, mulai dari identifikasi, pengukuran, hingga perumusan usulan perbaikan.

Dalam penerapan HEART dan SHERPA, diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap urutan aktivitas kerja yang dilakukan oleh operator. Oleh karena itu, Hierarchical Task Analysis (HTA) sering digunakan sebagai langkah awal untuk memetakan struktur tugas dan sub-tugas dalam suatu proses kerja. HTA membantu peneliti dalam mengidentifikasi titik-titik kritis dalam proses kerja yang berpotensi menimbulkan kesalahan manusia [8]. Dengan demikian, integrasi HTA, HEART, dan SHERPA menjadi pendekatan yang sistematis dan terstruktur dalam analisis human error.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan metode HEART dan SHERPA efektif dalam mengurangi tingkat human error pada berbagai sektor industri, seperti industri minyak dan gas, manufaktur, serta transportasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai HEP dan peningkatan kualitas serta keselamatan kerja setelah implementasi rekomendasi

perbaikan [9]. Namun, penelitian terkait penerapan kombinasi HEART dan SHERPA pada industri manufaktur guardrail, khususnya pada proses pemotongan coil, masih relatif terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian (research gap) yang perlu diisi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis human error pada proses pemotongan coil produksi guardrail part beam di PT Nusantara Steel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas kerja kritis, menghitung probabilitas terjadinya human error menggunakan metode HEART, serta merumuskan usulan perbaikan berdasarkan analisis SHERPA. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian mampu memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan dalam menurunkan tingkat produk cacat, serta kontribusi akademik dalam pengembangan penerapan metode analisis human error pada industri manufaktur baja.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan menganalisis dan mengurangi potensi human error pada proses pemotongan coil produksi guardrail part beam di PT Nusantara Steel. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan kondisi kerja aktual secara sistematis serta memberikan dasar kuantitatif dalam pengambilan keputusan perbaikan sistem kerja [10]. Objek penelitian difokuskan pada aktivitas operator mesin roll pada tahapan pemotongan coil, yang berdasarkan data awal memiliki tingkat cacat produk relatif tinggi.

Tahapan penelitian diawali dengan pemetaan aktivitas kerja menggunakan Hierarchical Task Analysis (HTA). HTA digunakan untuk menguraikan proses pemotongan coil ke dalam struktur tugas dan sub-tugas secara hierarkis, sehingga aktivitas kritis yang berpotensi menimbulkan human error dapat diidentifikasi secara jelas [11]. Hasil HTA selanjutnya menjadi dasar dalam penerapan metode Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART).

Metode HEART digunakan untuk menghitung probabilitas terjadinya kesalahan manusia atau Human Error Probability (HEP). Pada tahap ini, setiap aktivitas kerja diklasifikasikan ke dalam Generic Task Type (GTT), kemudian diidentifikasi Error Producing Conditions (EPCs) yang memengaruhi kinerja operator. Nilai Assessed Proportion of Affect (APOA) ditentukan untuk setiap EPC, dan perhitungan HEP dilakukan sesuai dengan prosedur HEART [12]. Nilai HEP yang dihasilkan digunakan untuk menentukan tingkat risiko human error pada setiap aktivitas kerja.

Untuk melengkapi analisis dan merumuskan usulan perbaikan, penelitian ini menggunakan metode Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA). Metode SHERPA digunakan untuk mengidentifikasi mode kesalahan, konsekuensi yang ditimbulkan, serta strategi pengendalian atau mitigasi yang sesuai. Rekomendasi perbaikan difokuskan pada aspek prosedur kerja, pelatihan operator, serta perbaikan sistem pengendalian operasi mesin [13].

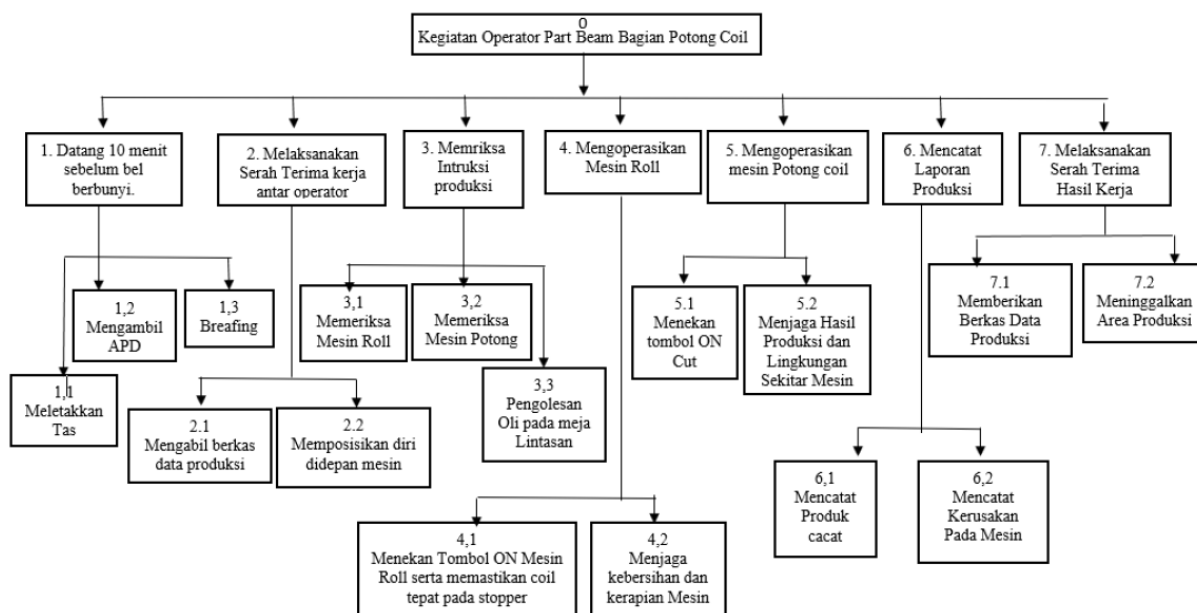
Evaluasi efektivitas usulan perbaikan dilakukan dengan membandingkan nilai HEP sebelum dan sesudah implementasi rekomendasi. Penurunan nilai HEP digunakan sebagai indikator keberhasilan perbaikan dalam mengurangi potensi human error dan menekan tingkat produk cacat pada proses pemotongan coil [14].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Bagian hasil penelitian ini menyajikan temuan empiris yang diperoleh dari penerapan metode Hierarchical Task Analysis (HTA), Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART), dan Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA) pada proses pemotongan coil produksi guardrail part beam di PT Nusantara Steel. Hasil penelitian disusun berdasarkan tahapan metodologi yang telah dijelaskan sebelumnya dan difokuskan pada identifikasi aktivitas kerja kritis, pengukuran probabilitas human error, serta evaluasi dampak usulan perbaikan terhadap penurunan risiko kesalahan manusia.

Tahap awal penelitian dilakukan dengan pemetaan aktivitas kerja menggunakan HTA. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan operator, proses pemotongan coil diuraikan ke dalam empat task utama, yaitu persiapan mesin dan material, pengaturan posisi coil, proses pemotongan menggunakan mesin roll, serta pemeriksaan hasil pemotongan. Dari keempat task utama tersebut, diidentifikasi enam subtask kritis yang memiliki potensi tinggi menimbulkan kesalahan manusia. Subtask kritis ini umumnya berkaitan dengan pengaturan posisi material, pengoperasian tombol mesin, serta pengawasan hasil potongan.



Gambar 1. Diagram Hierarchical Task Analysis (HTA) yang menggambarkan task dan subtask proses pemotongan coil

Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai HEP untuk setiap subtask kritis berdasarkan metode HEART

<i>Task</i>	<i>Sub Task</i>	HEP
3. Memeriksa Intruksi Produksi	3.1 Memeriksa Mesin Roll	0,05268
	3.2 Memeriksa Mesin Potong Coil	0,01881
4. Mengoperasikan Mesin Roll	4.1 Menekan Tombol ON Mesin Roll serta Memastikan Lembaran Coil tepat pada Stopper	1,6831
5. Mengoperasikan Mesin Potong (cut) Plat Baja.	5.1 Menekan Tombol ON <i>Cut</i>	0,2731
6. Mencatat Laporan Produksi	6.1 Mencatat Produk Cacat (<i>reject</i>)	0,01646
	6.2 Mencatat Kerusakan Pada Mesin	0,00141

Setelah struktur tugas dipetakan, analisis dilanjutkan dengan penerapan metode HEART untuk menghitung probabilitas terjadinya human error pada setiap subtask kritis. Hasil analisis HEART menunjukkan bahwa nilai Human Error Probability (HEP) bervariasi antar subtask. Subtask dengan nilai HEP tertinggi adalah aktivitas menekan tombol ON mesin roll dan memastikan posisi coil tepat pada

stopper. Aktivitas ini memiliki nilai HEP sebesar 1,6831, yang termasuk dalam kategori risiko tinggi. Nilai HEP yang tinggi mengindikasikan bahwa aktivitas tersebut sangat rentan terhadap kesalahan manusia dan berpotensi besar menyebabkan cacat produk apabila tidak dilakukan pengendalian yang memadai [15].

Tingginya nilai HEP pada aktivitas tertentu dipengaruhi oleh berbagai Error Producing Conditions (EPCs), seperti tekanan waktu kerja, kurangnya prosedur kerja yang terstandarisasi, keterbatasan pengawasan, serta kelelahan operator. Faktor-faktor tersebut memperbesar kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pengoperasian mesin dan penempatan material. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyebutkan bahwa kombinasi antara beban kerja mental dan fisik, serta sistem kerja yang kurang terstruktur, merupakan pemicu utama human error di industri manufaktur [16].

Berdasarkan hasil analisis HEART, dilakukan penerapan metode SHERPA untuk mengidentifikasi mode kesalahan, konsekuensi yang mungkin timbul, serta strategi mitigasi yang sesuai. Analisis SHERPA menunjukkan bahwa mode kesalahan yang paling sering terjadi adalah kesalahan tindakan (action error) dan kesalahan pemeriksaan (checking error). Kesalahan tindakan umumnya berkaitan dengan pengoperasian mesin yang tidak sesuai prosedur, sedangkan kesalahan pemeriksaan terjadi akibat kurangnya ketelitian operator dalam memverifikasi posisi dan hasil pemotongan coil.

Tabel 2. Hasil identifikasi mode kesalahan, konsekuensi, dan rekomendasi perbaikan berdasarkan metode SHERPA

<i>Task</i>	<i>Sub Task</i>	<i>Type Error</i>	<i>code</i>	Keterangan
3. Memeriksa Intruksi Produksi	3.2 Memeriksa Mesin Roll	<i>Checking Error</i>	C2	Pemeriksaan Tidak Lengkap
	3.2 Memeriksa Mesin Potong Plat	<i>Checking Error</i>	C2	Pemeriksaan Tidak Lengkap
4. Mengoperasikan Mesin Roll	4.1 Menekan Tombol ON Mesin Roll serta Memastikan Lembaran Coil tepat pada Stopper	<i>Action Error</i>	A8	Pemeriksaan yang terlalaikan / Pekerjaan yang Dilakukan Sering Lalai
5. Mengoperasikan Mesin Potong (cut).	5.1 Menekan Tombol ON Cut	<i>Action Error</i>	A1	Pekerjaan yang Dilakukan Terlalu Lama atau Terlalu Singkat
6. Mencatat Laporan Produksi	6.1 Mencatat Produk Cacat (<i>reject</i>)	<i>Retrieval Error</i>	R2	Informasi Salah Didapatkan
	6.2 Mencatat Kerusakan Pada Mesin	<i>Retrieval Error</i>	R3	Informasi yang didapatkan Tidak Lengkap

Usulan perbaikan yang dirumuskan berdasarkan analisis SHERPA meliputi penyusunan dan sosialisasi prosedur operasi standar (SOP) yang lebih jelas, penambahan tanda visual pada area stopper untuk membantu penempatan coil, peningkatan pelatihan operator terkait pengoperasian mesin roll,

serta peningkatan pengawasan pada aktivitas kritis. Rekomendasi ini dirancang untuk mengurangi pengaruh EPCs yang dominan dan menurunkan probabilitas terjadinya human error.

Setelah usulan perbaikan dirumuskan, dilakukan evaluasi ulang terhadap nilai HEP untuk mengetahui efektivitas rekomendasi yang diberikan. Hasil evaluasi menunjukkan adanya penurunan nilai HEP yang signifikan pada subtask kritis. Pada aktivitas dengan risiko tertinggi sebelumnya, nilai HEP menurun dari 1,6831 menjadi 0,48552. Penurunan ini menunjukkan bahwa usulan perbaikan yang dirancang mampu mengurangi potensi kesalahan manusia secara substansial.

Tabel 3. Perbandingan nilai HEP sebelum dan sesudah implementasi rekomendasi perbaikan

<i>Task</i>	<i>Sub Task</i>	HEP Sebelum Perbaikan	HEP Sesudah Perbaikan
3. Memeriksa Intruksi Produksi	3.5 Memeriksa Mesin Roll	0,05268	0,05268
	3.2 Memeriksa Mesin Potong Coil	0,01881	0,01881
4. Mengoprasikan Mesin Roll	4.3 Menekan Tombol ON Mesin Roll serta Memastikan Lembaran Coil tepat pada Stopper	1,6831	0,48552
5. Mengoperasikan Mesin Potong Coil.	5.1 Menekan Tombol ON <i>Cut</i>	0,2731	0,2731
6. Mencatat Laporan Produksi	6.1 Mencatat Produk Cacat (<i>reject</i>)	0,01646	0,01646
	6.2 Mencatat Kerusakan Pada Mesin	0,00141	0,00141

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses pemotongan coil pada produksi guardrail part beam di PT Nusantara Steel memiliki tingkat kerentanan human error yang cukup tinggi, khususnya pada aktivitas yang melibatkan interaksi langsung antara operator dan mesin. Nilai HEP yang tinggi pada kondisi awal mengindikasikan bahwa sistem kerja yang ada belum sepenuhnya mendukung kinerja operator secara optimal. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa human error tidak hanya disebabkan oleh faktor individu, tetapi juga oleh desain sistem kerja dan lingkungan operasional yang kurang memadai [17].

Penerapan metode HTA terbukti efektif dalam mengidentifikasi titik-titik kritis dalam proses kerja. Dengan memetakan struktur tugas secara hierarkis, peneliti dapat memahami hubungan antar aktivitas dan menentukan subtask yang memiliki kontribusi terbesar terhadap risiko kesalahan. Pendekatan ini memberikan dasar yang kuat untuk penerapan metode HEART dan SHERPA secara lebih terarah, sehingga analisis human error tidak dilakukan secara umum, tetapi fokus pada aktivitas yang paling berisiko [18].

Dari sisi kuantifikasi risiko, metode HEART memberikan keunggulan dalam menyajikan nilai probabilistik yang dapat digunakan sebagai indikator tingkat bahaya human error. Nilai HEP yang dihasilkan memungkinkan manajemen untuk memprioritaskan aktivitas kerja yang memerlukan intervensi segera. Dalam penelitian ini, aktivitas menekan tombol ON mesin roll dan memastikan posisi

coil pada stopper menjadi prioritas utama perbaikan karena memiliki nilai HEP tertinggi. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa aktivitas pengoperasian mesin merupakan salah satu sumber utama human error di industri manufaktur [19].

Metode SHERPA melengkapi analisis HEART dengan memberikan kerangka sistematis dalam merumuskan strategi mitigasi. Identifikasi mode kesalahan dan konsekuensi memungkinkan perumusan rekomendasi perbaikan yang lebih spesifik dan aplikatif. Usulan perbaikan yang dihasilkan tidak hanya berfokus pada perubahan perilaku operator, tetapi juga mencakup perbaikan sistem, seperti penyusunan SOP dan penambahan alat bantu visual. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip bahwa pencegahan human error yang efektif harus dilakukan melalui perbaikan sistem, bukan hanya mengandalkan kehati-hatian individu [20].

Penurunan nilai HEP setelah implementasi rekomendasi perbaikan menunjukkan bahwa kombinasi metode HEART dan SHERPA efektif dalam mengurangi risiko human error. Penurunan nilai HEP dari 1,6831 menjadi 0,48552 menunjukkan pergeseran tingkat risiko dari kategori tinggi ke kategori sedang. Hasil ini mengindikasikan bahwa intervensi yang relatif sederhana, seperti perbaikan prosedur dan peningkatan pelatihan, dapat memberikan dampak signifikan terhadap keselamatan dan kualitas kerja.

Dari perspektif manajerial, temuan penelitian ini memberikan implikasi penting bagi perusahaan. Dengan memahami sumber utama human error dan menerapkan strategi mitigasi yang tepat, perusahaan dapat menurunkan tingkat produk cacat, meningkatkan efisiensi produksi, serta mengurangi potensi kecelakaan kerja. Dalam jangka panjang, perbaikan ini berpotensi meningkatkan daya saing perusahaan dan kepercayaan pelanggan terhadap kualitas produk guardrail yang dihasilkan. Secara akademik, penelitian ini memperkaya literatur terkait penerapan metode analisis human error pada industri manufaktur baja, khususnya pada produksi guardrail. Integrasi HTA, HEART, dan SHERPA dalam satu kerangka analisis memberikan contoh penerapan metode yang komprehensif dan sistematis. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain terbatas pada satu jenis proses produksi dan satu perusahaan. Penelitian selanjutnya dapat memperluas objek penelitian pada proses produksi lain atau mengombinasikan metode ini dengan pendekatan ergonomi atau reliability engineering lainnya untuk memperoleh hasil yang lebih menyeluruh [21].

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa proses pemotongan coil pada produksi guardrail part beam di PT Nusantara Steel memiliki tingkat kerentanan human error yang cukup tinggi, terutama pada aktivitas yang melibatkan pengoperasian mesin dan penentuan posisi material. Hasil analisis menggunakan Hierarchical Task Analysis (HTA) berhasil mengidentifikasi empat task utama dan enam subtask kritis yang berpotensi menimbulkan kesalahan manusia. Temuan ini menunjukkan bahwa struktur kerja dan urutan aktivitas memiliki peran penting dalam memengaruhi tingkat risiko human error pada proses produksi.

Penerapan metode Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) menunjukkan bahwa aktivitas menekan tombol ON mesin roll dan memastikan posisi coil pada stopper merupakan aktivitas dengan tingkat risiko tertinggi, yang ditunjukkan oleh nilai Human Error Probability (HEP) sebesar 1,6831. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sistem kerja pada kondisi awal belum sepenuhnya mendukung kinerja operator secara aman dan andal. Setelah dilakukan analisis lanjutan menggunakan Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA) dan diterapkan rekomendasi perbaikan, nilai HEP pada aktivitas kritis tersebut menurun secara signifikan menjadi 0,48552.

Penurunan nilai HEP tersebut membuktikan bahwa kombinasi metode HTA, HEART, dan SHERPA efektif digunakan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengurangi potensi human error pada proses pemotongan coil produksi guardrail. Usulan perbaikan yang mencakup penyusunan prosedur kerja yang lebih jelas, peningkatan pelatihan operator, serta penambahan alat bantu visual terbukti mampu menurunkan risiko kesalahan manusia dan berpotensi mengurangi tingkat produk cacat.

Secara keseluruhan, penelitian ini merekomendasikan penerapan pendekatan analisis human error secara sistematis sebagai bagian dari upaya peningkatan kualitas dan keselamatan kerja pada industri manufaktur baja, khususnya pada proses produksi yang masih didominasi oleh aktivitas manual.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Reason, *Human Error*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
- [2] E. Hollnagel, *Human Reliability Analysis: Context and Control*. London, UK: Academic Press, 1998.
- [3] A. D. Swain and H. E. Guttmann, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. Washington, DC, USA: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.
- [4] J. R. Wilson and N. Corlett, *Evaluation of Human Work*, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2005.
- [5] S. Dhillon, *Human Reliability and Error in Transportation Systems*. London, UK: Springer, 2007.
- [6] J. Williams, "HEART—A proposed method for assessing and reducing human error," *Proc. 9th Adv. Saf. Reliab. Conf.*, pp. 35–42, 1986.
- [7] D. Kirwan, "A guide to practical human reliability assessment," *CRC Press*, Boca Raton, FL, USA, 1994.
- [8] B. Kirwan and L. K. Ainsworth, *A Guide to Task Analysis*. London, UK: Taylor & Francis, 1992.
- [9] E. Hollnagel, *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford, UK: Elsevier, 1998.
- [10] J. C. Guarnaccia, "Human error analysis in manufacturing systems," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 40, no. 2, pp. 176–183, 2010.
- [11] A. G. Colombo and R. Demichela, "The systematic human error reduction and prediction approach (SHERPA)," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 83, no. 2, pp. 163–176, 2004.
- [12] S. Stanton, N. Salmon, D. Walker, and L. Rafferty, *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. Farnham, UK: Ashgate, 2013.
- [13] R. J. Lucas and P. P. Pruet, "Reducing human error in industrial operations," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 18, no. 4–6, pp. 205–214, 2005.
- [14] A. Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, 2nd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2006.
- [15] P. Leva, "Human factors engineering in manufacturing," *Cogn. Technol. Work*, vol. 12, no. 3, pp. 199–210, 2010.
- [16] M. Di Pasquale and M. Rizzo, "Human error reduction strategies in industrial environments," *Saf. Sci.*, vol. 49, no. 2, pp. 145–154, 2011.
- [17] J. Dul and W. P. Neumann, "Ergonomics contributions to company strategies," *Appl. Ergon.*, vol. 40, no. 4, pp. 745–752, 2009.
- [18] B. Kirwan, "The development of a nuclear chemical plant human reliability management approach," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 44, no. 1, pp. 63–75, 1994.
- [19] S. E. G. P. Wijesundera and K. J. R. Ekanayake, "Human error assessment in manufacturing systems," *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 150–165, 2010.
- [20] J. Rasmussen, "Human error and the problem of causality in analysis of accidents," *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B*, vol. 327, no. 1241, pp. 449–460, 1990.
- [21] A. Hale and D. Glendon, *Individual Behaviour in the Control of Danger*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1987.