

Analisis *Human Error* Pada Pekerjaan Pengikatan Tiang Pancang Menggunakan Metode *Human Error Assessment And Reduction Technique* (HEART)

Hariman Juni Ar Rahman¹, Haidar Natsir Amrullah^{2*} dan Galih Anindita³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: harimanrahman@student.ppns.ac.id¹, haidar.natsir@ppns.ac.id², galih.talnabnif@ppns.ac.id³

Abstrak

Pekerjaan konstruksi merupakan sektor dengan tingkat risiko tinggi karena melibatkan berbagai faktor yang kompleks. Salah satu kegiatan dalam pekerjaan ini adalah proses pengikatan tiang pancang, yang rentan terhadap terjadinya kesalahan manusia (*human error*). Berdasarkan data kecelakaan kerja tahun 2023, tercatat insiden dalam pemasangan tiang pancang menggunakan *mobile crane* yang disebabkan oleh *human error*. Kejadian tersebut mengakibatkan kerusakan peralatan, kerugian finansial, serta membahayakan keselamatan kerja. Untuk mencegah terulangnya insiden serupa, diperlukan pendekatan sistematis guna menganalisis dan menekan kemungkinan terjadinya *human error* melalui *Human Reliability Assessment* (HRA). Dalam penelitian ini digunakan metode *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) untuk menghitung probabilitas kesalahan manusia (*Human Error Probability*/HEP). Hasil identifikasi dari HEART kemudian dianalisis lebih lanjut melalui *Impact assessment* guna mengetahui tingkat dampaknya terhadap kecelakaan. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah menghasilkan strategi pengendalian risiko, guna menurunkan kemungkinan terjadinya *human error* dalam proses pemasangan tiang pancang di proyek konstruksi..

Kata Kunci: *Human Error*, Pengikatan Tiang Pancang, *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART), *Fault Tree Analysis* (FTA)

Abstract

Abstract— Construction work is a high-risk sector because it involves various complex factors. One of the activities in this work is the pile binding process, which is prone to human error. Based on work accident data in 2023, an incident was recorded in the installation of piles using a mobile crane caused by human error. This incident resulted in equipment damage, financial losses, and endangered work safety. To prevent similar incidents from recurring, a systematic approach is needed to analyze and reduce the possibility of human error through the Human Reliability Assessment (HRA). This study used the Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) method to calculate the probability of human error (Human Error Probability/HEP). The identification results from HEART were then further analyzed through the Impact assessment to determine the level of impact on accidents. The ultimate goal of this study is to produce a risk control strategy to reduce the possibility of human error in the pile installation process in construction projects...

Keywords: *Human Error*, *Pile Binding*, *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART), *Fault Tree Analysis* (FTA)

1. PENDAHULUAN

Industri jasa konstruksi termasuk sektor yang memiliki tingkat risiko kecelakaan kerja yang tinggi. Faktor utama penyebab kecelakaan di proyek konstruksi berkaitan dengan karakteristik proyek yang unik, lokasi kerja yang selalu berubah, area kerja yang terbuka dan terpengaruh cuaca, waktu pelaksanaan yang terbatas, serta lingkungan kerja yang dinamis dan membutuhkan stamina fisik tinggi. Selain itu, keterlibatan tenaga kerja yang kurang terlatih turut meningkatkan potensi kecelakaan (Lokobal, 2020). Menurut ILO (2018), keselamatan dan kesehatan kerja merupakan seluruh upaya yang dilakukan untuk menjamin perlindungan terhadap tenaga kerja melalui pencegahan kecelakaan dan penyakit akibat pekerjaan. Pekerjaan konstruksi tergolong aktivitas dengan risiko tinggi (*International Labor Organization*, 2018). Beragam aktivitas dalam konstruksi mencakup mobilisasi peralatan, fabrikasi, pekerjaan fondasi beton, hingga instalasi mekanik. Salah satu pekerjaan dengan tingkat bahaya tinggi adalah pengikatan tiang pancang (Perusahaan, 2023).

Pekerjaan ini dilaksanakan oleh tim pancang dalam proses pemasangan struktur fondasi bangunan, yang berperan penting untuk menopang beban bangunan dengan menanamkan tiang ke tanah hingga mencapai lapisan tanah yang kuat. Tiang pancang banyak digunakan pada pembangunan gedung tinggi, jembatan, pelabuhan, dan infrastruktur lainnya (Nurdiani, 2017). Peralatan yang digunakan mencakup hydraulic jack pile, water jetting equipment, dan vibratory hammer. Selain itu, mobile crane digunakan untuk mengangkat tiang pancang dan memindahkannya ke posisi alat pancang. Mobile crane umumnya dipakai pada proyek berskala menengah hingga besar karena kemampuannya mengangkut material berat dan mobilitas tinggi di area proyek. Namun, proses pengikatan dan pengoperasian crane dilakukan oleh manusia, yang berisiko melakukan kesalahan (human error) akibat keterbatasan manusia, sehingga berpotensi menyebabkan cacat produk atau ketidaksesuaian spesifikasi (Tanjung, 2015).

Human error merupakan kesalahan manusia dalam menjalankan pekerjaan yang tidak sesuai prosedur, termasuk kelalaian dan kekeledaran, serta dipengaruhi oleh buruknya interaksi antara manusia, peralatan, dan lingkungan kerja (Satria et al., 2021). Dalam aktivitas pengikatan tiang pancang, kesalahan dapat timbul akibat kelelahan, kurang pelatihan, komunikasi yang tidak efektif, atau kesalahan pengambilan keputusan. Salah satu contoh kasus terjadi pada 8 Desember 2023 dalam proyek pembangunan galangan kapal tahap 2 di Area DPT, di mana kesalahan metode pengikatan wire sling oleh crew pancang menyebabkan tiang pancang tersentak dan mengenai boom mobile crane, sehingga mengakibatkan kerusakan alat dan potensi bahaya keselamatan. Kesalahan ini disebabkan oleh pemasangan sling yang terlalu pendek dan tidak tepat. Mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan oleh human error dalam pekerjaan konstruksi, diperlukan pendekatan sistematis seperti Human Reliability Assessment (HRA) untuk menganalisis dan meminimalkan potensi kesalahan manusia (Riyanti et al., 2021).

Human Reliability Assessment (HRA) adalah metode untuk menganalisis kegagalan manusia dalam kaitannya dengan penilaian risiko dan identifikasi penyebabnya. Dalam dunia industri, kecelakaan kerja sering kali disebabkan oleh kesalahan tenaga kerja itu sendiri (Riyanti et al., 2021). HRA dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif untuk mengevaluasi sejauh mana peran manusia dalam kontribusinya terhadap risiko (Safitri et al., 2017). Salah satu metode kuantitatif yang umum digunakan dalam HRA adalah Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART), yang berguna untuk mengukur nilai probabilitas kesalahan manusia atau Human Error Probability (HEP) (Riyanti et al., 2021). Metode HEART dikenal karena prosesnya yang relatif cepat dan mudah dipahami oleh para insinyur maupun ahli faktor manusia (Casidy, 2018). Melalui metode ini, dapat diidentifikasi berbagai penyebab terjadinya human error serta kondisi tidak aman yang berpotensi menyebabkan kecelakaan (Riyanti et al., 2021). Selain itu, HEART juga digunakan untuk menentukan seberapa besar kemungkinan terjadinya kesalahan dalam setiap aktivitas pekerjaan (Zetli, 2021). Setelah dilakukan identifikasi human error, tahap selanjutnya adalah melakukan impact assessment guna menilai apakah probabilitas kesalahan yang tinggi juga berdampak besar terhadap potensi terjadinya kecelakaan.

Human Reliability Assessment (HRA) merupakan pendekatan yang digunakan untuk menganalisis kegagalan manusia dalam konteks penilaian risiko serta mengidentifikasi faktor penyebabnya. Di sektor industri, banyak kecelakaan kerja yang terjadi akibat kesalahan dari pekerja itu sendiri (Riyanti et al., 2021). Penilaian keandalan manusia melalui HRA dapat dilakukan dengan pendekatan kualitatif maupun kuantitatif untuk mengukur sejauh mana kontribusi manusia terhadap risiko (Safitri et al., 2017). Salah satu metode kuantitatif yang sering diterapkan dalam HRA adalah Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART), yang digunakan untuk menghitung probabilitas kesalahan manusia atau Human Error Probability (HEP) (Riyanti et al., 2021). Metode HEART dinilai efisien dan mudah dipahami oleh insinyur serta praktisi keselamatan kerja (Casidy, 2018). Dengan metode ini, berbagai faktor penyebab kesalahan manusia dan kondisi tidak aman yang dapat memicu kecelakaan dapat diidentifikasi (Riyanti et al., 2021). HEART juga membantu dalam menentukan peluang terjadinya kesalahan dalam tiap aktivitas kerja (Zetli, 2021). Setelah tahap identifikasi human error dilakukan, langkah berikutnya adalah impact assessment untuk menilai apakah kesalahan dengan probabilitas tinggi juga memiliki dampak signifikan terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya serta data kecelakaan yang terjadi di perusahaan, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai faktor-faktor penyebab human error dalam aktivitas pengikatan tiang pancang. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini tidak sebatas pada analisis human error, tetapi juga untuk memperoleh gambaran yang lebih mendalam terkait aspek-aspek yang memengaruhi kesalahan tersebut dalam proses pekerjaan tersebut. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui hasil identifikasi bahaya nilai Human Error Probability menggunakan metode HEART dan hasil rekomendasi pengenalan pada pekerjaan pengikatan tiang pancang.

2. METODE

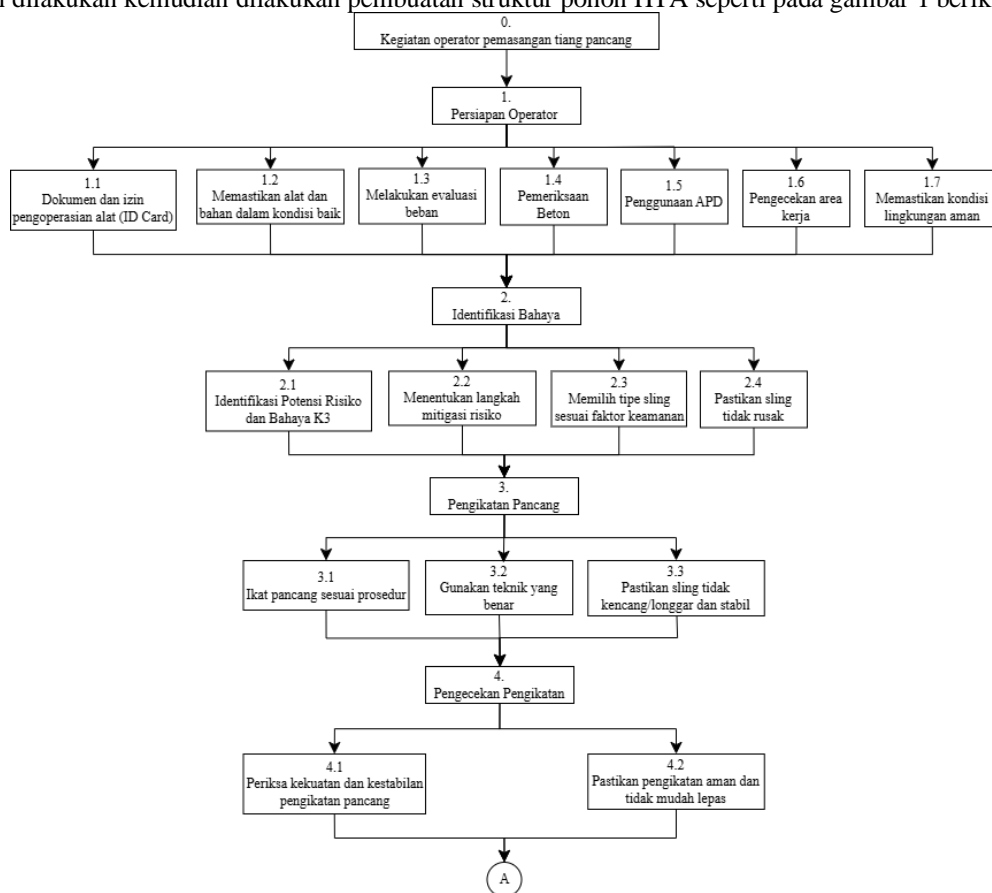
Metode yang digunakan dalam penelitian ini berisikan tahapan-tahapan yang dapat menjadi acuan dalam

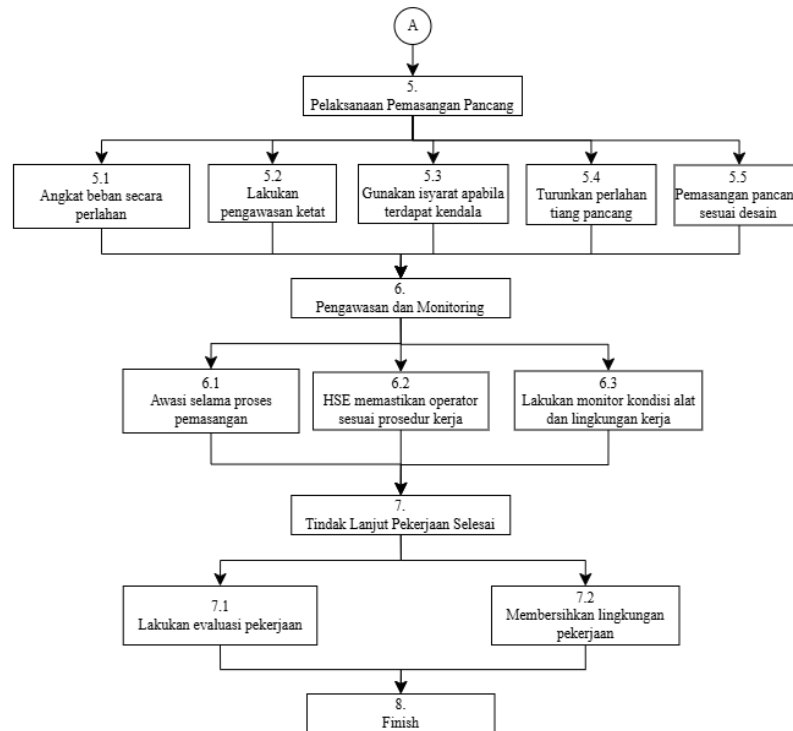
penelitian. Hal ini bertujuan agar penelitian dapat terlaksana secara terstruktur dan mendapatkan hasil yang maksimal. Penelitian ini dimulai dengan observasi awal berupa studi lapangan, literatur, identifikasi dan perumusan masalah. Kemudian pengumpulan data yang akan digunakan berupa data primer dan data sekunder. Pada data primer didapatkan dari wawancara kepada praktisi operator *crane* (*expert judgment*). Sedangkan data sekunder didapatkan dari dokumen IBPR lokasi penelitian, dan data kecelakaan dilengkapi dengan *Job Safety Analysis*. Selanjutnya pada pengolahan dan analisis data penelitian ini menggunakan metode HEART untuk mengidentifikasi bahaya pada setiap pekerja. Kemudian dilakukan analisis *impact assessment* untuk menentukan risk matriks dan pengendalian yang dilakukan. Pada tahap akhir dilakukan pengendalian risiko menggunakan hirarki pengendalian berupa rekomendasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Data yang didapatkan dalam penelitian ini berdasarkan hasil wawancara dengan *expert judgement* yang mengoperasikan pengikatan tiang pancang. Wawancara dilakukan dengan menanyakan investigasi kecelakaan pada saat pekerjaan dengan melihat urutan pekerjaan yang didapatkan dari instruksi kerja perusahaan. Dari hasil analisis investigasi kecelakaan didapatkan hasil kesalahan metode pengikatan dan pemasangan *wire sling* yang tidak terpasang dengan benar. Sehingga peneliti melakukan analisis dengan metode HEART untuk memastikan kesalahan manusia dalam pelaksanaan pekerjaan ini. Pada awal analisis data mengklasifikasikan *Hierarchy Task Analysis* (HTA) pada setiap pekerjaan. Adapun hasil wawancara penentuan HTA. Dari hasil pengklasifikasian pekerjaan dilakukan kemudian dilakukan pembuatan struktur pohon HTA seperti pada gambar 1 berikut ini.





Gambar 1. Struktur Pohon *Hierarchy Task Analysis* (HTA)

Kemudian setelah dilakukan pengklasifikasian HTA, peneliti menentukan *Generic Task Types/ GGTs* kedalam 8 pilihan jenis tugas umum yang berbeda dengan pertimbangan *expert judgment*. Adapun hasil analisis penilaiannya sebagai berikut.

Tabel 1. *Generic Task Types* (GTTs)

<i>SubTask</i>	<i>Task Activity</i>	<i>GGTs</i>	<i>Nilai</i>
1.1	Pastikan membawa dokumen operasi dan izin pengoperasian alat (ID Card, uji kondisi alat)	E. Rutin, sering dikerjakan, pekerjaan yang dilakukan membutuhkan tingkat kemampuan yang relatif rendah	0,02
1.2	Pastikan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk pengikatan pancang sudah tersedia dan dalam kondisi baik, termasuk tali, kawat, sistem hidrolik, sistem pengaman dan alat pengikat lainnya.	E. Rutin, sering dikerjakan, pekerjaan yang dilakukan membutuhkan tingkat kemampuan yang relatif rendah	0,02
1.3	Lakukan evaluasi beban dengan mengukur berat beban yang diangkat, dimensi, dan titik beratnya dengan memastikan kapasitas angkat <i>crane</i> dan <i>sling</i> yang digunakan	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
1.4	Periksa kondisi beton, dan pastikan tidak ada retak atau kerusakan yang akan mengganggu pengikatan <i>sling</i>	D. Pekerjaan sederhana yang dilakukan dengan cepat dan perhatian yang sedikit	0,09
1.5	Gunakan alat pelindung diri (APD) yang harus digunakan oleh pekerja, seperti helm, sepatu keselamatan, sarung tangan, dan pelindung mata.	D. Pekerjaan sederhana yang dilakukan dengan cepat dan perhatian yang sedikit	0,09
1.6	Lakukan pengecekan terhadap area kerja untuk memastikan tidak ada potensi bahaya, seperti tanah yang tidak stabil atau rintangan lainnya.	F. Mengubah atau mengembalikan system pada keadaan yang baru dengan mengikuti beberapa prosedur, dengan mengikuti beberapa prosedur dengan beberapa pemeriksaan	0,003

1.7	Pastikan area sekitar pancang bebas dari orang yang tidak terlibat dalam pekerjaan dan diberi tanda pembatas jika diperlukan.	E. Rutin, sering dikerjakan, pekerjaan yang dilakukan membutuhkan tingkat kemampuan yang relatif rendah	0,02
2.1	Identifikasi potensi bahaya yang mungkin terjadi selama pengikatan pancang, seperti pancang jatuh, peralatan rusak, atau cedera pada pekerja.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
2.2	Tentukan langkah-langkah mitigasi risiko untuk setiap bahaya yang diidentifikasi.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
2.3	Pilih tipe sling yang sesuai dengan beban, jenis pengangkatan, dan gunakan faktor keamanan minimal 5 kali beban maksimum yang diangkat.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
2.4	Pastikan sling tidak rusak, aus, atau cacat.	D. Pekerjaan sederhana yang dilakukan dengan cepat dan perhatian yang sedikit	0,09
3.1	Ikat pancang dengan menggunakan tali atau kawat sesuai prosedur yang telah ditentukan untuk memastikan pancang stabil dan tidak bergeser.	D. Pekerjaan sederhana yang dilakukan dengan cepat dan perhatian yang sedikit	0,09
3.2	Gunakan teknik yang benar dalam pengikatan untuk mencegah kerusakan pada pancang dan alat pengikat.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
3.3	Pastikan sling tidak terlalu kencang atau terlalu longgar. Pastikan posisi sling agar beban terangkat dengan stabil	D. Pekerjaan sederhana yang dilakukan dengan cepat dan perhatian yang sedikit	0,09
4.1	Periksa kekuatan dan kestabilan pengikatan pancang sebelum melanjutkan ke tahap pemasangan.	G. Operasi sudah dikenal, sering dikerjakan, sudah ada standarnya, sangat terlatih, dilakukan oleh orang berpengalaman, mengetahui kesalahan yang mungkin terjadi dengan tersedianya waktu untuk koreksi tanpa bantuan operator khusus	0,0004
4.2	Pastikan pengikatan pancang sudah aman dan tidak mudah lepas.	F. Mengubah atau mengembalikan system pada keadaan yang baru dengan mengikuti beberapa prosedur, dengan mengikuti beberapa prosedur dengan beberapa pemeriksaan	0,003
5.1	Angkat beban secara perlahan dan terkontrol. Pastikan pengangkatan sesuai dengan rencana pengangkatan.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
5.2	Lakukan pengawasan ketat selama pengangkatan, perhatikan ayunan beban dan Gerakan <i>crane</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
5.3	Gunakan isyarat tangan yang jelas dan dipahami oleh operator <i>crane</i>	E. Operasi rutin, sering dilakukan, sudah terlatih	0,02
5.4	Turunkan beban secara perlahan dan terkontrol ke posisi yang diinginkan	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
5.5	Lanjutkan pemasangan pancang dengan hati-hati, memastikan bahwa pancang terpasang dengan benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi	0,16
6.1	Awasi selama proses pemasangan untuk memastikan tidak ada risiko atau kecelakaan yang terjadi.	G. Operasi sudah dikenal, sering dikerjakan, sudah ada standarnya, sangat terlatih, dilakukan oleh orang berpengalaman, mengetahui kesalahan yang mungkin terjadi	0,0004

		dengan tersedianya waktu untuk koreksi tanpa bantuan operator khusus	
6.2	HSE <i>Officer</i> atau petugas yang ditunjuk harus mengawasi proses pengikatan pancang secara berkala untuk memastikan prosedur keselamatan diikuti dengan benar.	G. Operasi sudah dikenal, sering dikerjakan, sudah ada standarnya, sangat terlatih, dilakukan oleh orang berpengalaman, mengetahui kesalahan yang mungkin terjadi dengan tersedianya waktu untuk koreksi tanpa bantuan operator khusus	0,0004
6.3	Lakukan monitoring terhadap kondisi alat dan lingkungan kerja secara terus-menerus selama proses berlangsung.	G. Operasi sudah dikenal, sering dikerjakan, sudah ada standarnya, sangat terlatih, dilakukan oleh orang berpengalaman, mengetahui kesalahan yang mungkin terjadi dengan tersedianya waktu untuk koreksi tanpa bantuan operator khusus	0,0004
7.1	Setelah pengikatan pancang selesai, lakukan evaluasi terhadap proses yang telah dilakukan dan pastikan semua langkah pengendalian risiko telah diimplementasikan dengan baik.	E. Operasi rutin, sering dilakukan, sudah terlatih	0,02
7.2	Bersihkan area kerja dari alat dan bahan yang tidak terpakai serta pastikan bahwa lingkungan kerja aman untuk pekerja lainnya.	D. Operasi yang mudah, bisa diandalkan keberhasilannya	0,09

Tabel 1. terdapat beberapa *sub task* yang berpotensi *human error*. *Sub task* ini dilakukan analisis dan perhitungan nilai *Human Error Probability* (HEP) dengan melakukan penentuan nilai *Error Producing Conditions* (EPCs) dan *Assess Proportion of Affect* (APoA) dahulu ditentukan berdasar ketentuan yang ada. Pada *sub task* yang sudah disesuaikan dengan intruksi kerja dapat dianalisis berdasarkan potensi kesalahan dengan disesuaikan penilaian APoA yang sudah ada. Berikut tabel 2. rincian dari hasil analisis penilaian APoA dengan *expert judgment*.

Tabel 2. APoA

<i>SubTask</i>	<i>Task Activity</i>	<i>Potential Error</i>	EPCs	Nilai EPCs	<i>Proportion of Affect (Pi)</i>
1.1	Pastikan membawa dokumen operasi dan izin pengoperasian alat (ID Card, uji kondisi alat)	Operator tidak membawa dokumen operasi dan izin pengoperasian (ID card, uji kondisi alat).	31	1,2	0,4
1.2	Pastikan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk pengikatan pancang sudah tersedia dan dalam kondisi baik, termasuk tali, kawat, sistem hidrolik, sistem pengaman dan alat pengikat lainnya.	Operator tidak mengecek kondisi alat dan bahan sehingga rusak/tidak lengkap	2 32	11 1,2	0,3 0,3
1.3	Lakukan evaluasi beban dengan mengukur berat beban yang diangkat, dimensi, dan titik beratnya dengan memastikan kapasitas angkat <i>crane</i> dan sling yang digunakan	Operator tidak mengukur beban dengan benar sesuai dengan ketentuan yang ada	2 32	11 1,2	0,6 0,6
1.4	Periksa kondisi beton, dan pastikan tidak ada retak atau kerusakan yang akan mengganggu pengikatan sling	Operator lalai tidak memeriksa kondisi beton	2 15 32	11 3 1,2	0,5 0,5 0,5
1.5	Gunakan alat pelindung diri (APD) yang harus digunakan oleh pekerja, seperti helm, sepatu keselamatan, sarung tangan, dan pelindung mata.	Operator tidak menggunakan APD lengkap	32 36	1,2 1,06	0,3 0,3
1.6	Lakukan pengecekan terhadap area kerja untuk memastikan tidak ada	Operator lalai tidak memeriksa kondisi	16 36	3 1,06	0,3 0,3

	potensi bahaya, seperti tanah yang tidak stabil atau rintangan lainnya.	lingkungan dari potensi bahaya			
1.7	Pastikan area sekitar pancang bebas dari orang yang tidak terlibat dalam pekerjaan dan diberi tanda pembatas jika diperlukan.	Operator lalai tidak memeriksa area sekitar pancang bebas dari orang	16 36	3 1,06	0,3 0,3
2.1	Identifikasi potensi bahaya yang mungkin terjadi selama pengikatan pancang, seperti pancang jatuh, peralatan rusak, atau cedera pada pekerja.	Operator tidak mengenali bahaya yang ditimbulkan dari aktivitas	12 15	4 3	0,3 0,6
2.2	Tentukan langkah-langkah mitigasi risiko untuk setiap bahaya yang diidentifikasi.	Operator tidak mengetahui Langkah mitigasi risiko dari identifikasi bahaya yang dilakukan	12 15	4 3	0,6 0,9
2.3	Pilih tipe sling yang sesuai dengan beban, jenis pengangkatan, dan gunakan faktor keamanan minimal 5 kali beban maksimum yang diangkat.	Operator salah memilih tipe atau penggunaan kapasitas sling	5 36	8 1,06	0,9 0,6
2.4	Pastikan sling tidak rusak, aus, atau cacat.	Operator lalai tidak memastikan sling aus/rusak	15 36	3 1,06	0,3 0,3
3.1	Ikat pancang dengan menggunakan tali atau kawat sesuai prosedur yang telah ditentukan untuk memastikan pancang stabil dan tidak bergeser.	Operator lalai dalam pengikatan longgar/tidak sesuai prosedur	16 21	3 2	0,9 0,9
3.2	Gunakan teknik yang benar dalam pengikatan untuk mencegah kerusakan pada pancang dan alat pengikat.	Operator tidak sesuai dengan Teknik pengikatan, kerusakan pada alat atau pancang	16 21	3 2	0,9 0,9
3.3	Pastikan sling tidak terlalu kencang atau terlalu longgar. Pastikan posisi sling agar beban terangkat dengan stabil	Operator memasang tidak sesuai prosedur dan tidak terukur	6 21	8 2	0,9 0,9
4.1	Periksa kekuatan dan kestabilan pengikatan pancang sebelum melanjutkan ke tahap pemasangan.	Operator tidak memeriksa kekuatan dan pengikatan pancang	16 21	3 2	0,6 0,6
4.2	Pastikan pengikatan pancang sudah aman dan tidak mudah lepas.	Operator kurang handal dalam mengikat pancang	15	3	0,7
5.1	Angkat beban secara perlahan dan terkontrol. Pastikan pengangkatan sesuai dengan rencana pengangkatan.	Operator tidak konsentrasi dalam mengoperasikan unit	34 35	1,1 1,05	0,9 0,9
5.2	Lakukan pengawasan ketat selama pengangkatan, perhatikan ayunan beban dan Gerakan <i>crane</i>	Tidak ada pengawasan ketat	16	3	0,7
5.3	Gunakan isyarat tangan yang jelas dan dipahami oleh operator <i>crane</i>	Operator tidak mengenali isyarat pengawas	8 16	6 3	0,3 0,3
5.4	Turunkan beban secara perlahan dan terkontrol ke posisi yang diinginkan	Operator tidak bisa mengontrol posisi pancang	2 15	11 4	0,9 0,6
5.5	Lanjutkan pemasangan pancang dengan hati-hati, memastikan bahwa pancang terpasang dengan	Posisi salah atau tidak sesuai desain	12 15	4 3	0,6 0,6

	benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.				
6.1	Awasi selama proses pemasangan untuk memastikan tidak ada risiko atau kecelakaan yang terjadi.	Pengawas tidak melakukan pengawasan pada proses pemasangan	16	3	0,4
6.2	HSE Officer atau petugas yang ditunjuk harus mengawasi proses pengikatan pancang secara berkala untuk memastikan prosedur keselamatan diikuti dengan benar.	Pengawas K3 tidak melakukan pengawasan secara rutin	16	3	0,4
6.3	Lakukan monitoring terhadap kondisi alat dan lingkungan kerja secara terus-menerus selama proses berlangsung.	Operator tidak melakukan pengamatan kondisi alat dan lingkungan kerja	21 33	2 1,15	0,3 0,3
7.1	Setelah pengikatan pancang selesai, lakukan evaluasi terhadap proses yang telah dilakukan dan pastikan semua langkah pengendalian risiko telah diimplementasikan dengan baik.	Operator tidak melakukan evaluasi secara lengkap	13 16	4 3	0,3 0,3
7.2	Bersihkan area kerja dari alat dan bahan yang tidak terpakai serta pastikan bahwa lingkungan kerja aman untuk pekerja lainnya.	Operator tidak membersihkan alat dan bahan, sehingga terdapat risiko tertinggal	31 32	1,2 1,2	0,3 0,3

Dari hasil nilai yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai HEP pada setiap *Sub task*. Kemudian apabila mendapatkan nilai HEP tertinggi dari salah satu *Sub task* dapat diberikan rekomendasi untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang sama. Adapun hasil perhitungan pada nilai HEP *Sub task* terbesar didapatkan pada proses pemasangan pancang. Berikut hasil perhitungan Nilai HEP pada proses pemasangan pancang.

a. Perhitungan *Task 5.1*

Berikut Tabel 3 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada *Task 5.1* Angkat beban secara perlahan dan terkontrol. Pastikan pengangkatan sesuai dengan rencana pengangkatan.

Tabel 3 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada *Task 5.1*

HEP			
<i>Task Analysis</i>	Angkat beban secara perlahan dan terkontrol. Pastikan pengangkatan sesuai dengan rencana pengangkatan.		
<i>Potential Human Error</i>	Operator tidak konsentrasi dalam mengoperasikan unit		
<i>Generic Task Type</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Reability</i>	0,016		
<i>Error Producting Condition</i>	<i>Total HEART Effect</i>	<i>Assessed Proportion</i>	<i>Assessed Effect</i>
	f_i	p_i	$AE = [p_i(f_i - 1) + 1]$
34	1,1	0,9	1,09
35	1,05	0,9	1,045
<i>Human Error Probability</i> $[r \times \sum p_i (f_i - 1)]$	0,182248		

b. Perhitungan *Task 5.2*

Berikut Tabel 4 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada *Task 5.2* Lakukan pengawasan ketat selama pengangkatan, perhatikan ayunan beban dan Gerakan *crane*

Tabel 4 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada *Task 5.2*

HEP	
<i>Task Analysis</i>	Lakukan pengawasan ketat selama pengangkatan, perhatikan ayunan beban dan Gerakan <i>crane</i>
<i>Potential Human Error</i>	Tidak ada pengawasan ketat

<i>Generic Task Type</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Reability</i>	0,016		
<i>Error Producing Condition</i>	<i>Total HEART Effect</i>	<i>Assessed Proportion</i>	<i>Assessed Effect</i>
	f_i	p_i	$AE = [p_i(f_i - 1) + 1]$
16	3	0,7	2,4
<i>Human Error Probability</i> [$r \times \prod p_i(f_i - 1)$]	0,384		

c. Perhitungan Task 5.3

Berikut Tabel 5 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.3 Gunakan isyarat tangan yang jelas dan dipahami oleh operator *crane*.

Tabel 5 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.3

HEP			
<i>Task Analysis</i>	Gunakan isyarat tangan yang jelas dan dipahami oleh operator <i>crane</i>		
<i>Potential Human Error</i>	Operator tidak mengenali isyarat pengawas		
<i>Generic Task Type</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Reability</i>	0,16		
<i>Error Producing Condition</i>	<i>Total HEART Effect</i>	<i>Assessed Proportion</i>	<i>Assessed Effect</i>
	f_i	p_i	$AE = [p_i(f_i - 1) + 1]$
8	6	0,3	2,5
16	3	0,3	1,6
<i>Human Error Probability</i> [$r \times \prod p_i(f_i - 1)$]	0,08		

d. Perhitungan Task 5.4

Berikut Tabel 6 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.4 Turunkan beban secara perlahan dan terkontrol ke posisi yang diinginkan

Tabel 6 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.4

HEP			
<i>Task Analysis</i>	Turunkan beban secara perlahan dan terkontrol ke posisi yang diinginkan		
<i>Potential Human Error</i>	Operator tidak bisa mengontrol posisi pancang		
<i>Generic Task Type</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Reability</i>	0,16		
<i>Error Producing Condition</i>	<i>Total HEART Effect</i>	<i>Assessed Proportion</i>	<i>Assessed Effect</i>
	f_i	p_i	$AE = [p_i(f_i - 1) + 1]$
2	11	0,9	10
13	4	0,6	2,8
<i>Human Error Probability</i> [$r \times \prod p_i(f_i - 1)$]	4,48		

e. Perhitungan Task 5.5

Berikut Tabel 7 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.5 Lanjutkan pemasangan pancang dengan hati-hati, memastikan bahwa pancang terpasang dengan benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.

Tabel 7 Perhitungan efek *error* dan probabilitas kesalahan manusia pada Task 5.5

HEP	
<i>Task Analysis</i>	Lanjutkan pemasangan pancang dengan hati-hati, memastikan bahwa pancang terpasang dengan benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.
<i>Potential Human Error</i>	Posisi salah atau tidak sesuai desain

<i>Generic Task Type</i>	C. Pekerjaan bersifat kompleks, sehingga membutuhkan tingkat kemampuan dan perhatian yang tinggi		
<i>Nominal Human Reability</i>	0,16		
<i>Error Producing Condition</i>	<i>Total HEART Effect</i>	<i>Assessed Proportion</i>	<i>Assessed Effect</i>
	f_i	p_i	$AE = [p_i(f_i - 1) + 1]$
12	4	0,6	2,8
15	3	0,6	2,2
<i>Human Error Probability</i> $[r \times \prod p_i(f_i - 1)]$	0,9856		

Dari perhitungan yang didapatkan pada proses pemasangan tiang pancang menjadi kesalahan dengan probabilitas tertinggi dibandingkan dengan proses yang lainnya. Dapat dilihat juga dari hasil perhitungan apabila *Sub task* 5.4 didapatkan nilai sebesar 4,48 yang terbesar dari seluruh nilai HEP yang didapatkan. Sehingga perlu dilakukan *Impact assessment* untuk menilai risiko yang akan digunakan sebagai acuan pengendalian/rekomendasi. Adapun hasil analisis yang didapatkan dalam penentuan *impact assessment* dari hasil wawancara dengan *expert judgment* sebagai berikut.

Tabel 8. *Impact assessment*

<i>Task Activity</i>	<i>Detail Pekerjaan</i>	<i>Nilai HEP</i>	<i>Impact assessment (Top Event)</i>				<i>Finding Unsafe Action & Unsafe Condition Data</i>	<i>Basic Cause</i>
			<i>RISKS</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>Rating</i>	<i>Finding Description</i>	
A.	Angkat beban secara perlahan dan terkontrol. Pastikan pengangkatan sesuai dengan rencana pengangkatan.	0,182 248	M	3	2	6	Mengangkat terlalu cepat Beban tidak seimbang	Operator tidak konsentrasi dalam mengoperasikan unit
B.	Lakukan pengawasan ketat selama pengangkatan, perhatikan ayunan beban dan Gerakan <i>crane</i>	0,384	M	2	3	6	Beban diangkat melebihi kapasitas Beban tidak dikaitkan dengan benar	Tidak ada pengawasan ketat
C.	Gunakan isyarat tangan yang jelas dan dipahami oleh operator <i>crane</i>	0,08	L	2	2	4	Isyarat diberikan tanpa koordinasi Area bising (sulit dengar komunikasi)	Operator tidak mengenali isyarat pengawas
D.	Turunkan beban secara perlahan dan terkontrol ke posisi yang diinginkan	4,48	H	3	5	15	Menurunkan beban terlalu cepat Beban tidak dikontrol	Operator kurang handal dalam mengoperasikan alat
E.	Lanjutkan pemasangan pancang dengan hati-hati, memastikan bahwa pancang terpasang dengan benar dan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.	0,985 6	MH	4	3	12	Tidak mengikuti desain yang sudah dirancang Permukaan tanah tidak stabil	Posisi salah atau tidak sesuai desain

Rekomendasi Pengendalian

Dari hasil nilai matriks yang didapatkan perlu dilakukan pengendalian pada hasil risiko tertinggi dengan nilai 15 dengan menggunakan hirarki pengendalian. Adapun hasil dari rekomendasi hirarki pengendalian sebagai berikut.

Tabel 9. Rekomendasi Pengendalian

No	Jenis Pengendalian Bahaya	Ada	Tidak Ada
1	Eliminasi		V
2	Substitusi		V
3	Rekaya/ <i>Engineering control</i>	a. Memodifikasi alat bantu pengukuran beban dan alarm keseimbangan kerja secara otomatis yang dipasang pada alat pancang untuk membantu operator menjaga stabilitas secara visual. b. Kemudian dapat menyediakan jalur komunikasi interaktif dua arah yang dilakukan pada pengawas dan operator agar komunikasi antara pekerja lebih efektif selama proses pengikatan dan pengangkatan pancang	
4	<i>Administrative control</i>	a. Pembuatan SOP (<i>Standard Operating Procedure</i>) terkait pengoperasian pengikatan tiang pancang. b. Kemudian pembuatan dokumen identifikasi bahaya dalam pengoperasian pengikatan tiang pancang dari aspek perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan pengecekan. Hal ini difokuskan pada penilaian risiko dan pengendalian awal agar kondisi bahaya dapat diminimalisir. c. Pada aspek perencanaan dilakukan perhitungan beban yang akan diangkat secara spesifik dengan ketentuan yang berlaku d. Selain itu, dapat dilakukan pelatihan rutin kepada operator untuk memastikan ilmu dalam pengoperasian <i>crane</i> dapat <i>upgrade</i>	
5	APD (alat pelindung diri)	Melakukan pemantauan terhadap kelengkapan APD pekerja pengoperasian pengikatan tiang pancang (sarung tangan, helm, rompi, masker, dan kacamata) tahap ini dilakukan dengan memberi pekerja akses fasilitas yang akan mengurangi tingkat keparahan bahaya yang ditimbulkan	

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang ada dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Identifikasi bahaya dapat dilakukan dengan metode HEART dengan langkah mengklasifikasikan setiap *sub task* dengan memberikan nilai human unreliability. Kemudian menentukan *Error Producing Conditions* dan juga asumsi proporsi kesalahan *Assesses Proportion of Affect (ApoA)*, dengan nilai proporsi kesalahan berkisar 0-1. Tahap terakhir menghitung *Human Error Probability (HEP)* dengan input berupa nominal human unreliability, nilai EPCs dan juga ApoA. Dari hasil perhitungan yang didapatkan dasar kesalahan terjadi pada *Task 5.4* dengan nilai HEP sebesar 4,48. Hal ini dikarenakan terjadinya kesalahan dalam pengoperasian yang tidak mengikuti prosedur pelaksanaan dan tidak mempertimbangkan keseimbangan tiang pancang. Kemudian untuk kesalahan yang paling rendah pada *Task 6.3* dengan nilai HEP sebesar 0,000543, dalam pelaksanaan monitoring pekerjaan dan lingkungan area kerja.
2. Rekomendasi pengendalian yang dapat dilakukan untuk mengurangi bahaya pekerjaan pengikatan tiang pancang yaitu memberikan rekomendasi berupa rekayasa teknik, administratif, dan APD. Pada rekayasa teknik dapat menambahkan modifikasi pengukuran beban kerja secara otomatis. Kemudian pada administratif dapat membuat SOP pengikatan tiang pancang, mengidentifikasi bahaya dengan menambahkan pengukuran beban kerja sebelum digunakan, dan melakukan pelatihan rutin kepada operator untuk memastikan ilmunya dapat diterapkan sesuai dengan ketentuan regulasi

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada [Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya] atas izin dan fasilitas yang diberikan selama proses pengumpulan data. Penulis juga menghargai bantuan dan kerja sama dari rekan-rekan teknis serta petugas lapangan yang telah membantu dalam kegiatan observasi dan

pengujian.

Tidak lupa, apresiasi diberikan kepada dosen pembimbing serta rekan sejawat atas masukan dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan dan penyempurnaan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam peningkatan keselamatan kerja di lingkungan kerja ruang terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Casidy, D. (2018). Analisa Tingkat Keandalan Operator Menggunakan Metode HEART (Human Error Assesment and Reduction Technique) Pada Pabrik Tahu Manteb Cianjur Jawa Barat. *Pasti Volume XII, XII(2)*, 142–153.
- International Labor Organization. (2018). Meningkatkan Keselamatan dan Kesehatan Pekerja Muda. In *Kantor Perburuhan Internasional , CH- 1211 Geneva 22, Switzerland*.
- Lokobal, A. (2020). Manajemen Risiko Pada Perusahaan Jasa Pelaksana Konstruksi Di Propinsi Papua. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(2), 109–118.
- Ma'aarij, M. R. Al, & Nugraha, A. E. (2022). Analisis Human Error Guna Meminimalkan Kecelakaan Kerja Dengan Menggunakan Metode SHERPA dan HEART (Studi Kasus: CV Sarana Sejahtera Tehnik). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* <https://Jurnal.Unibrah.Ac.Id/Index.Php/JIWP>, 8(5), 99–104. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6408870>
- Nurdiani, N. (2017). Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang. *ComTech*, 4(9), 776–784.
- Nurmala, R. (2020). Mengkategorikan Risiko Kecelakaan Kerja Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Pasar Pon Kabupaten Trenggalek Menggunakan Matriks Penilaian Risiko. *Jurnal Konstruksi*, 18(1), 1–10. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.18-1.772>
- Riyanti, T. D., Tambunan, W., & Sukmono, W. (2021). Analisis Human Reliability Assessment (HRA) dengan Metode Heart dan Spar-h (Studi Kasus PT.X). *Journal of Industrial And*, 5(1), 41–48.
- Tanjung, G. (2015). Analisis Human Error dengan Metode HEART. *Galang Tanjung*, 2504, 1–9.
- Safitri, D. M., Astriaty, A. R., & Rizani, N. C. (2017). Human Reliability Assessment dengan Metode Human Error Assessment and Reduction Technique pada Operator Stasiun Shroud PT. X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v4i1.1388.1-7>
- Satria, S. B. S., Khoiriyah, N., & Fatmawati, W. (2021). Human Reliability Analysis Pada Operator Grinding Dan Welding Galangan Kapal Dengan Pendekatan Cognitive Reliability and Error Analysis Method (Cream). *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 59–65. <https://doi.org/10.36040/industri.v11i1.3412>
- Zetli, S. (2021). Analisis Human Error dengan Pendekatan Metode Sherpa dan Heart pada Produksi Batu Bata UKM Yasin. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 7(2), 147–156. <https://doi.org/10.30656/intech.v7i2.3934>