

Human Error Analysis pada Produksi Concrete Spun Pile dengan Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM) di Perusahaan Beton Pracetak

Putri Dwi Rohmahwati¹, Galih Anindita², Dika Rahayu Widiani², Fuji Rizki Nur Khasanah⁴

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

³Magister Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

⁴Perusahaan Beton Pracetak, Jalan Raya Banong Km 1, Mojokerto, Jawa Timur

*E-mail: galih.talnabnof@ppns.ac.id

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan beton pracetak untuk memenuhi rancangan pembangunan infrastruktur pemerintah meningkatkan produksi beton pracetak, salah satunya produksi *concrete spun pile*. Produksi *concrete spun pile* sebagai elemen struktural pada fondasi bangunan memiliki tahapan kompleks yang melibatkan banyak interaksi manusia, sehingga rentan terhadap *human error*. Pada produksi *concrete spun pile*, terhitung sejak tahun 2021 hingga September 2024, terjadi kecelakaan kerja akibat *human error* berjumlah 50% dari 12 kasus kecelakaan di produksi pabrik beton pracetak. Oleh karena itu diperlukan penelitian yang menganalisis *human error probability* pada pekerjaan produksi *concrete spun pile* dengan menggunakan *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (CREAM). CREAM memiliki dua pendekatan utama yaitu *basic method* dan *extended method*. *Basic method* digunakan untuk menilai *Common Performance Condition* (CPC) dan menghasilkan *control mode tactical* dengan *interval* probabilitas *error* $0,001 < p < 0,1$. *Extended method* dilakukan untuk mengevaluasi aktivitas kognitif serta menentukan nilai *adjusted Cognitive Failure Probability* (CFP) per *subtask*. Hasil menunjukkan bahwa fungsi kognitif *execution* paling dominan (42,25%), dengan tingkat kegagalan fungsi kognitif sebesar 60,37%, dan nilai *adjusted CFP* tertinggi sebesar 0,1. Rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu sistem penyimpanan baut berkode warna untuk identifikasi cepat, pembaruan intruksi kerja dan pelatihan teknis, serta penggunaan APD wajib yang sesuai dapat menjadi strategi efektif untuk mengurangi potensi kesalahan manusia dan meningkatkan keselamatan serta kualitas dalam proses produksi *concrete spun pile*.

Kata Kunci: *Adjusted Cognitive Failure Probability* (CFP), CREAM, Human Error, Human Reliability Assessment (HRA), Produksi Concrete Spun Pile

Abstract

The increasing demand for precast concrete to support the government's infrastructure development plans has led to higher production of precast concrete, including concrete spun piles. As a structural element for building foundations, the production of concrete spun piles involves complex stages with numerous human interactions, making it highly prone to human error. From 2021 to September 2024, workplace accidents caused by human error accounted for 50% of the 12 accidents recorded in the precast concrete production plant. Therefore, research is needed to analyze the human error probability in concrete spun pile production using the Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM). CREAM has two main approaches: the basic method and the extended method. The basic method is used to assess the Common Performance Conditions (CPC) and yields a tactical control mode with an error probability interval of $0.001 < p < 0.1$. The extended method evaluates cognitive activities and determines the adjusted Cognitive Failure Probability (CFP) for each subtask. The results indicate that the execution cognitive function is the most dominant (42.25%), with a cognitive function failure rate of 60.37%, and the highest adjusted CFP value of 0.1. Recommended improvements include implementing a color-coded bolt storage system for quick identification, updating work instructions and providing technical training, as well as enforcing the mandatory use of appropriate personal protective equipment (PPE). These strategies can effectively reduce the potential for human error and enhance both safety and quality in the production process of concrete spun piles.

Keywords: *Adjusted Cognitive Failure Probability* (CFP), Concrete Spun Pile Production, CREAM, Human Error, Human Reliability Assessment (HRA)

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia kembali mengencakan pembangunan infrastruktur dalam dua puluh tahun terakhir. Pembangunan infrastruktur ini merupakan bagian dari Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025 yang ada dalam Undang-undang No. 17 Tahun 2007. Infrastruktur yang dibangun antara lain jalan tol, bandara, termasuk juga IKN. Pembangunan infrastruktur menuntut perusahaan konstruksi melakukan pengembangan perusahaan dengan membuat anak perusahaan di bidang beton pracetak untuk memenuhi kebutuhan dalam pembangunan infrastruktur nasional dan meminimalisir adanya kegiatan impor beton pracetak dari luar negeri. Beton pracetak dipilih karena dianggap dapat menambah nilai dalam bentuk efektivitas dan penghematan waktu pekerjaan. Karena hal inilah membuat kebutuhan beton pracetak semakin meningkat (Adhitya & Fahma, 2020).

Tingginya kegiatan produksi tentu saja akan meningkatkan interaksi antara manusia, mesin, dan lingkungan. Interaksi ini dapat menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja (Nur, 2019). Kecelakaan kerja merupakan kecelakaan yang terjadi di tempat kerja, maupun saat dalam perjalanan pergi atau pulang dari tempat kerja yang tidak dikehendaki yang dapat menimbulkan kerugian baik waktu, harta, maupun korban jiwa. Kecelakaan ini dapat terjadi karena kondisi yang tidak aman dan perilaku yang tidak aman. Untuk kecelakaan kerja yang disebabkan kondisi yang tidak aman (*unsafe condition*) dilatarbelakangi dengan kondisi lingkungan kerja yang memiliki potensi untuk menyebabkan kecelakaan. Dan kecelakaan yang disebabkan karena perilaku tidak aman (*unsafe action*) dilatarbelakangi oleh kurangnya pengetahuan dan keterampilan, maupun sikap dan tingkah laku pekerja (Ma'aarij & Nugraha, 2022). Dalam data perusahaan diketahui bahwa dalam rentang tahun 2021 hingga 2024 terjadi sebanyak 12 kasus kecelakaan kerja akibat *human error* atau kesalahan manusia dan 2 kasus kecelakaan kerja akibat kondisi tidak aman (*unsafe condition*). *Human error* berkaitan erat dengan manusia dan segala tindakannya. Karena manusia memiliki keterbatasan dalam kapasitas mengingat, melihat, memproses, dan bertindak secara relevan yang berpengaruh pada proses pengambilan keputusan pada tiap individunya sehingga juga dapat memberikan kontribusi terhadap kecelakaan kerja yang terjadi (Gati dkk., 2020). Jika kecelakaan kerja terjadi maka proses produksi akan terhambat dan dapat merugikan perusahaan (Putri & Assidiq, 2022). Dan akan muncul kemungkinan terjadi kecelakaan kerja yang sama jika perusahaan tidak mengatasi penyebabnya dengan segera. Kecelakaan kerja yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh tindakan tidak aman (*unsafe action*) yang terkait dengan keterbatasan manusia dalam memahami dan mematuhi SOP maupun instruksi kerja (IK). Faktor lain seperti kurangnya pelatihan, pengawasan, serta beban kerja tinggi turut memengaruhi munculnya kelalaian. Padahal, SOP dan IK sudah tersedia dalam perusahaan, namun implementasinya masih rendah karena kurangnya pemahaman dan disiplin pekerja.

Untuk itu dalam memahami kemungkinan penyebab *human error* perlunya dilakukan analisis yang lebih sistematis dengan salah satu metode HRA yaitu *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)* merupakan salah satu bagian dari *Human Reliability Analysis (HRA)* yang dapat mengukur keandalan kognitif dan menganalisis probabilitas kegagalan yang terjadi pada tindakan manusia (Widharto dkk., 2018). Metode CREAM yang memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat digunakan untuk *predictively* dan *retrospectively* (Salmon dkk., 2003). CREAM menghasilkan keluaran dalam bentuk struktur hierarki dengan menetapkan batasan antara sumber kesalahan objektif dan subjektif. Adapun metode ini sudah seringkali dipakai oleh beberapa peneliti terdahulu untuk menganalisis *human error* seperti penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan dkk., 2023 mengenai analisis probabilitas *human error* pada pekerjaan penggantian *bearing gearbox trolley container crane*, analisis *human error* pada operator di *plant WTM 16* oleh Restiana dkk., 2023. Dan oleh Ulfah dkk., 2024 mengenai analisis *human error probability* pada pekerjaan *scaffolding* dengan pendekatan metode CREAM. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi serta menganalisis probabilitas *human error* pada produksi *concrete spun pile*.

2. METODE

Langkah awal dalam menganalisis menggunakan metode CREAM yakni pengumpulan data primer dan data sekunder. Dalam penelitian ini data primer berupa pengamatan dan penilaian oleh *expert judgement* yang terdiri dari *supervisor* produksi putar, *supervisor stressing*, *supervisor moulding*, *supervisor finishing*, *quality control*, dan *HSE officer*. Adapun beberapa aspek yang perlu didiskusikan bersama *expert judgement* untuk mengetahui hasil identifikasi kesalahan manusia serta menghitung kemungkinan nilai error pada produksi *concrete spun pile*.

Data kecelakaan kerja tahun 2021-2024, Prosedur kerja, instruksi kerja, dan HIRADC produksi *concrete spun pile* merupakan bagian dari data sekunder dalam penelitian ini. Data-data yang telah diperoleh kemudian diolah

dengan menyusun *Hierarchical Task Analysis* (HTA) dan dilanjutkan menggunakan pendekatan metode CREAM. Terdapat 2 (dua) tahap pada metode CREAM yaitu *basic method* dan *extended method*. *Basic method* CREAM menghasilkan nilai probabilitas *human error* secara keseluruhan pada pekerjaan, sedangkan tahap *extended method* CREAM memberikan hasil berupa nilai kemungkinan kesalahan manusia dari setiap *subtask* pekerjaan (Maulida Alifia dkk., 2015). Adapun langkah analisis *human error* menggunakan metode CREAM antara lain (Hollnagel, 1998):

1. *Basic Method*

Basic method adalah langkah yang dapat menghasilkan nilai kemampuan kinerja para pekerja pada sebuah pekerjaan secara keseluruhan. Berikut tahapan pada *basic method* antara lain:

- Menyusun *Hierarchical Task Analysis* (HTA)
Langkah awal dalam menggunakan metode CREAM yakni melakukan identifikasi terhadap pekerjaan untuk menganalisis kemampuan atau keandalan yang diperlukan oleh pekerja. Selanjutnya yaitu membuat *Hierarchical Task Analysis* (HTA) karena HTA dapat memberikan hasil berupa rangkuman dalam bentuk hierarki tugas dan subtugas.
- Menilai *Common Performance Condition* (CPC)
Langkah kedua dalam menerapkan metode CREAM adalah memberikan penilaian terhadap *Common Performance Condition* (CPC). CPC merupakan gambaran ciri-ciri kondisi dimana kinerja yang diharapkan terjadi. Terdapat sembilan (9) kategori penilaian dengan level/deskripsi yang berbeda-beda.
- Penentuan *Probable Control Mode*
Apabila nilai CPC sudah diketahui maka langkah berikutnya yaitu penentuan *probable control mode*. Untuk menentukan *probable control mode* dilakukan dengan mempertimbangkan nilai CPC yang telah diketahui sebelumnya. Hasil CPC yang diperoleh kemudian diekspresikan dalam triplet ($\sum$ improved, $\sum$ reduced, $\sum$ not significant) kemudian diilustrasikan ke grafik hubungan antara hasil CPC dan *control mode* sehingga akan dihasilkan interval keandalan atau *reliability interval*.

2. *Extended method*

Langkah selanjutnya yaitu *extended method*, yakni tahap yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kemungkinan kegagalan terhadap aktivitas pekerjaan secara detail. Langkah-langkah dalam *extended method* antara lain:

- Mengembangkan aspek kognitif tugas
Langkah ini merupakan langkah yang bertujuan untuk mengembangkan faktor kognitif dari pekerjaan yakni dengan penentuan setiap fungsi dasar kognitif yang kemungkinan diperlukan pada suatu kegiatan yang dilakukan saat pekerjaan sedang dilakukan.
- Identifikasi probabilitas kegagalan aspek kognitif
Langkah ini dilakukan dengan mengidentifikasi probabilitas kegagalan aspek kognitif tentang aktivitas-aktivitas tertentu berdasarkan pengetahuan sehingga didapatkan nilai nominal CFP.
- Menentukan probabilitas *error*
Probabilitas *error* atau bisa disebut dengan *Cognitive Failure Probability* (CFP) atau pada HRA generasi ke-1 disebut dengan *Human error Probability* (HEP). Penilaian CFP dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Adjusted CFP atau HEP} = \text{Weighting factor} \times \text{Nominal CFP} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai *weighting factor*:

$$\text{Weighting factor} = \text{CPC}_1 \times \text{CPC}_2 \times \text{CPC}_3 \times \dots \times \text{CPC}_9 \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh akan dianalisis menggunakan metode CREAM dengan tahapan seperti berikut:

1. *Basic Method*

- Menyusun *Hierarchical Task Analysis* (HTA)

Hierarchical Task Analysis (HTA) dibuat berdasarkan prosedur kerja produksi *concrete spun pile*, intruksi kerja produksi *concrete spun pile*, dan sesuai dengan keadaan di lapangan saat produksi sedang berlangsung oleh ahli. Hasil *Hierarchy Task Analysis* (HTA) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask	
1.	Persiapan HSE	1.1	Memastikan tersedia HIRADC dan tersosialisasikan
		1.2	Memastikan semua rambu terpasang dengan baik dan terbaca dengan jelas
		1.3	Memastikan kelengkapan peralatan kerja dan peralatan safety serta kelayakannya
		1.4	Memastikan kondisi pekerja <i>fit to work</i>

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask	
2.	Persiapan Produksi	2.1	Memastikan material cukup dan lolos inspeksi sesuai ITP
		2.2	Memastikan tersedianya <i>shop drawing</i> , prosedur, dan petunjuk kerja telah dipahami
		2.3	Memastikan jalur produksi dan kelengkapan perakatan kerja dalam keadaan siap dan bersih
3.	Persiapan QC	3.1	Memastikan JMF telah disetujui tersedia
		3.2	Memastikan form inspeksi dan pengujian tersedia
4.	Pemotongan, Pembuatan Kepala, dan Pengelasan <i>Spun Pile</i>	4.1	Menggunakan APD dan emematuhi aturan K3L
		4.2	Supervisor memastikan material PC Bar dan PC Wire telah sesuai ketentuan
		4.3	Supervisor melakukan pengecekan ulang diameter PC Bar dan PC wire menggunakan jangka sorong
		4.4	Memastikan PC Bar dan PC Wire bebas dari karat, minyak dan lain-lain yang dapat mengurangi lekatan dengan beton.
		4.5	Supervisor memastikan operator mesin <i>cutting</i> , <i>heading</i> , dan <i>caging</i> telah membaca dan memahami <i>manual book</i> alat yang akan digunakan.
		4.6	Supervisor mengecek kondisi alat kerja dalam keadaan baik
		4.7	Inspektur HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm</i> , <i>Safety Shoes</i> , <i>Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		4.8	Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya
		4.9	Pekerja memasang gulungan PC Bar pada mesin <i>roll PC Bar</i> dengan dibantu <i>crane</i>
		4.10	Pekerja menggulung PC Wire dari mesin <i>roll PC Wire</i> ke <i>roll caging</i>
		4.11	Operator <i>cutting</i> menyetel <i>stopper</i> mesin <i>cutting</i> PC Bar sesuai ukuran panjang yang direncanakan.
		4.12	Supervisor memeriksa kembali setelan sebelum memulai pemotongan
		4.13	Ujung PC Bar pada mesin <i>roll PC Bar</i> dimasukkan pada mesin <i>cutting</i>
		4.14	Pelaksanaan <i>cuting</i> dilakukan
		4.15	Hasil potongan PC bar digulirkan pada area <i>Heading</i>
		4.16	Supervisor memeriksa kuantitas dan kualitas hasil potongan PC Bar
		4.17	QC <i>inspector</i> mengecek secara random ukuran PC Bar benar-benar presisi
		4.18	Operator <i>heading</i> menyetel alat heading sesuai ukuran kepala <i>heading</i> yang diinginkan
		4.19	Supervisor memeriksa hasil setelan sebelum alat dioperasikan
		4.20	Ujung PC Bar sisi pertama dimasukkan ke mesin <i>heading</i> 1
		4.21	Tekan tombol ON mesin <i>heading</i> pertama, kemudian dilepas
		4.22	Masukkan ujung PC Bar sisi kedua ke mesin <i>heading</i> 2
		4.23	Tekan tombol ON mesin <i>heading</i> kedua, kemudian dilepas
		4.24	Supervisor memeriksa suhu alat pada saat dilakukan <i>heading</i> dengan menggunakan <i>thermogun</i> tipe industri setiap 30 menit secara berkala
		4.25	QC inspektur mengecek kualitas hasil pekerjaan <i>heading</i>
		4.26	Operator <i>caging</i> memasang dan menyetel piringan baja sesuai dengan diameter <i>spun pile</i> yang akan diproduksi
		4.27	Supervisor mengecek sebelum alat dioperasikan
		4.28	Masukkan PC Bar dengan panjang yang sudah ditentukan ke dalam lubang piringan baja dengan jumlah dan posisi PC Bar sesuai tipe yang direncanakan.
		4.29	Operator <i>mensetting</i> jarak PC Wire pada posisi ujung dan tengah PC Bar pada panel mesin <i>caging</i>
		4.30	Operator menghidupkan mesin <i>caging</i> sampai pengelasan selesai pada ujung PC Wire

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask	
		4.31	Hasil perakitan dipindahkan ke area stok rakitan
		4.32	Supervisor memeriksa kuantitas dan kualitas hasil pekerjaan <i>caging</i>
		4.33	QC inspector memeriksa satu per satu hasil produk <i>caging</i> memberikan tanda QC Pass
5.	<i>Assembling Rakitan PC Bar Spun Pile</i>	5.1	Gunakan APD dan Mematuhi aturan K3L
		5.2	Supervisor memastikan rakitan PC Bar yang akan di- <i>assembly</i> sudah terdapat tanda QC Pass proses <i>caging</i>
		5.3	Supervisor memastikan pekerja <i>assembly</i> telah memahami instruksi kerja
		5.4	Supervisor mengecek kembali kondisi <i>joint plate</i> dan sepatu pancang dalam keadaan baik
		5.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		5.6	Pekerja menempatkan posisi rakitan PC Bar ke lokasi <i>assembling</i>
		5.7	Pekerja menyiapkan <i>joint plate</i> dan sepatu pancang <i>precast</i> sesuai dengan diameter <i>spun pile</i> yang akan diproduksi
		5.8	Letakkan rakitan PC Bar di atas meja <i>lory</i> kecil
		5.9	Letakkan ujung <i>join plate</i> /sepatu pancang <i>precast</i> pada ujung PC Bar
		5.10	Masukkan ujung rakitan PC Bar ke dalam lubang plat sambung/sepatu pancang <i>precast</i>
		5.11	Hasil <i>assembling</i> siap <i>disetting</i> ke dalam cetakan bawah secara hati-hati
		5.12	QC <i>inspector</i> memeriksa hasil <i>assembling</i> dan memberi tanda QC Pass proses <i>assembly</i> .
6.	<i>Setting Rakitan di Cetakan Spun Pile</i>	6.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		6.2	Supervisor memastikan <i>assembly</i> rakitan sudah terdapat tanda/label QC Pass proses <i>assembly</i>
		6.3	Supervisor memastikan plat sambung (<i>joint plate</i>) dan sepatu pancang sudah terdapat tanda/label QC Pass
		6.4	Supervisor memastikan baut yang ada di area produksi dalam keadaan layak (tidak bengkok dan tidak aus)
		6.5	Supervisor memastikan tidak ditemukan retak pada <i>inner plate, end plate</i> maupun <i>shaft rod</i> .
		6.6	Supervisor memastikan pekerja <i>setting</i> rakitan telah memahami intruksi kerja dan syarat keberterimaan proses <i>setting</i>
		6.7	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		6.8	Masukkan <i>assembling</i> rakitan ke dalam cetakan bawah dengan hati-hati menggunakan <i>gantry/OH crane</i> yang dilengkapi dengan <i>spreader beam</i>
		6.9	Cek ulang plat sambung sebelum dilakukan pemasangan <i>tension plate</i>
		6.10	Sambungkan ujung rakitan dengan <i>tension plate</i> yang sudah tersambung dengan <i>shaft</i> menggunakan baut
		6.11	Sambungkan ujung rakitan satunya ke <i>end plate</i> menggunakan baut
		6.12	Supervisor dan QC Inspektor memeriksa hasil <i>setting</i> rakitan sesuai dengan <i>form</i> ceklist pemasangan rakitan <i>spun pile</i>
		6.13	Setelah lolos pemeriksaan QC, <i>setting</i> rakitan di cetakan bawah siap dikirim ke bagian pengecoran dengan OH/ <i>Gantri crane</i>
7.	<i>Pengecoran Spun Pile</i>	7.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		7.2	Supervisor memastikan kesiapan troli
		7.3	Supervisor memastikan kebersihan area rel troli dari sisa material beton pengecoran sebelumnya
		7.4	Supervisor memastikan pekerja pengecoran telah memahami

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask
		instruksi kerja dan syarat keberterimaan proses pengecoran
		7.5 Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		7.6 Supervisor memastikan kesiapan <i>moulding</i> bagian atas dalam kondisi baik
		7.7 Angkat <i>moulding</i> bawah yang sudah berisi <i>setting</i> rakitan dengan OH/Gantri <i>crane</i> dan letakkan di atas troli
		7.8 Pengisian beton <i>ready mix</i> dari <i>batching plant</i> ke <i>hoper</i> dengan volume sesuai tabel volume <i>spun pile</i>
		7.9 Tuangkan beton <i>ready mix</i> ke dalam cetakan secara merata dari ujung ke ujung
		7.10 Gunakan plat tebang pada sisi cetakan untuk menghindari tumpahnya beton <i>ready mix</i> ke luar cetakan
		7.11 Gunakan besi rojok untuk membantu beton <i>ready mix</i> masuk ke dalam rakitan dan cetakan
		7.12 Pastikan semua beton di dalam <i>hoper</i> cor tertuang habis dalam cetakan
		7.13 Bersihkan bibir <i>moulding</i> dari sisa tumpahan beton menggunakan sendok semen, kuas atau kain majun
		7.14 Pasang <i>moulding</i> bagian atas
		7.15 Penguncian baut cetakan dengan menggunakan alat <i>impact gun</i>
		7.16 <i>Moulding</i> yang sudah selesai ditutup dikirim ke area <i>stressing</i> menggunakan troli
8.	<i>Stressing Spun Pile</i>	8.1 Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		8.2 Supervisor memastikan kesiapan alat <i>stressing</i> dan cetakan beton
		8.3 Supervisor memastikan operator <i>stressing</i> telah memahami intruksi kerja dan syarat keberterimaan proses <i>stressing</i>
		8.4 QC inspektor memastikan alat <i>stressing</i> beserta alat ukurnya sudah terkalibrasi dan layak operasi
		8.5 <i>Engineering</i> menginformasikan batasan <i>jacking force</i> dan <i>elongasi</i> yang dipakai sesuai dengan tabel <i>stressing PC Spun pile</i>
		8.6 Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		8.7 Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan <i>transfer</i> informasi dari <i>shift</i> sebelumnya
		8.8 Tempatkan posisi meja <i>stressing</i> pada ujung cetakan memanjang
		8.9 Masukkan <i>coupler stressing</i> ke <i>shaft</i> cetakan
		8.10 <i>Coupler</i> yang sudah terpasang di <i>shaft</i> dimasukkan ke rumah <i>jack stressing</i>
		8.11 Hidupkan mesin <i>stressing</i> (ON)
		8.12 Lakukan peregang awal
		8.13 Penarikan dimulai dengan memperhatikan angka manometer sesuai dengan besar tegangan dan <i>elongasi</i> yang sudah direncanakan
		8.14 Hentikan penarikan/ <i>stressing</i> setelah angka manometer menunjukkan angka yang direncanakan
		8.15 Lakukan pencatatan besar tegangan dan <i>elongasi</i>
		8.16 Lepas <i>coupler</i> dari rumah <i>jack stressing</i> dan cetakan untuk dilanjutkan ke proses <i>spinning</i>
9.	<i>Spinning Spun Pile</i>	9.1 Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		9.2 Supervisor memastikan mesin <i>spinning</i> dalam keadaan baik dan layak operasi
		9.3 Supervisor memastikan operator <i>spinning</i> telah memahami instruksi kerja dan tahapan proses <i>spinning</i>
		9.4 QC inspektor memastikan alat ukur RPM sudah terkalibrasi

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask	
		9.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan</i>)
		9.6	Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan <i>transfer</i> informasi dari <i>shift</i> sebelumnya
		9.7	Cetakan ditempatkan di atas <i>as/rol spinning</i>
		9.8	Mesin <i>spinning</i> dihidupkan
		9.9	Mesin <i>spinning</i> diputar sesuai tabel tahapan proses <i>spinning</i>
		9.10	Operator mencatat RPM dan waktu putaran
		9.11	Pengentian putaran dilakukan secara bertahap
		9.12	Angkat cetakan
		9.13	Buka tutup <i>end plate</i> dan buang ke limbah bak limbah
		9.14	Pindahkan cetakan ke bak <i>steam</i> menggunakan OH <i>Gantry</i>
10.	<i>Steaming Spun Pile</i>	10.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		10.2	Supervisor memastikan bak <i>steam</i> dan mesin <i>steam</i> dalam keadaan baik dan layak operasi
		10.3	Supervisor memastikan operator <i>steam</i> telah memahami intruksi kerja dan tahapan proses <i>steam</i>
		10.4	QC Inspektor memastikan alat pengukur suhu <i>steaming</i> telah terkalibrasi
		10.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan</i>)
		10.6	Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan <i>transfer</i> informasi dari <i>shift</i> sebelumnya
		10.7	Cetakan ditempatkan di dalam bak <i>steam</i> dan disusun sesuai kapasitas bak <i>steam</i>
		10.8	Operator mencatat jam masuk
		10.9	Tutup bak <i>steam</i> dengan penutup yang sudah disediakan
		10.10	Cetakan tiang pancang didiamkan selama 1 jam dari cetakan terakhir yang masuk ke dalam bak <i>steam</i>
		10.11	Buka katup uap panas dari boiler ke bak <i>steam</i> secara bertahap sampai maksimum mencapai suhu 70
		10.12	Setelah didiamkan 120 menit, katup uap panas dari boiler secara bertahap ditutup hingga suhu kembali ke suhu kamar.
		10.13	Setelah proses penguapan setelah 300 menit atau 5 jam, bak <i>steam</i> dibuka sampai uap panas keluar dari bak <i>steam</i> .
		10.14	Cetakan dikeluarkan ke area pendinginan sekitar 1 jam dan cetakan atas sudah bisa dibuka
		10.15	Operator melakukan pencatatan waktu dan suhu pada saat dilakukan <i>steaming</i>
11.	Pembukaan Cetakan <i>Spun Pile</i>	11.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		11.2	Supervisor memastikan alat <i>impact gun</i> dalam keadan baik dan layak operasi
		11.3	Supervisor memastikan operator dan pekerja telah memahami intruksi kerja dan tahapan proses pembukaan cetakan
		11.4	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan</i>)
		11.5	Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan <i>transfer</i> informasi dari <i>shift</i> sebelumnya
		11.6	Pastikan pasir dalam bak beton sebagai alas bukaan dalam keadaan rata dan datar
		11.7	Cetakan yang sudah selesai proses pendinginannya diletakkan di atas pasir dalam bak beton
		11.8	Buka <i>end plate</i> dengan melepas baut menggunakan <i>impact gun</i>
		11.9	Mur cetakan dilepas menggunakan <i>impact gun</i>

Tabel 1. *Hierarchy Task Analysis* Produksi *Concrete Spun Pile*

No	Task Analysis	Subtask	
		11.10	Setelah semua mur dan baut cetakan dilepas, cetakan atas diangkat menggunakan OH gantri
		11.11	<i>Spun pile</i> dikeluarkan dari cetakan bawah dengan menggulingkannya di atas pasir, atau diangkat dengan menggunakan <i>suction crane</i>
		11.12	Operator mencatat jam angkat dan jam buka cetakan
		11.13	Test mutu beton dengan <i>hammer test</i>
		11.14	QC inspektor melakukan inspeksi produk akhir menggunakan <i>form checklist</i> pasca <i>demoulding</i>
12.	<i>Finishing Spun Pile</i>	12.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L
		12.2	Supervisor memastikan semua peralatan dan material tersedia
		12.3	Supervisor memastikan semua pekerjaan telah memahami instruksi kerja dan tahapan proses <i>finishing</i>
		12.4	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (<i>Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest</i> , dan sarung tangan)
		12.5	Supervisor memimpin <i>tool box meeting</i> setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan <i>transfer</i> informasi dari <i>shift</i> sebelumnya
		12.6	Membuat label identitas (nomor produksi, nomor urut produksi dan tipe <i>spun pile</i>)
		12.7	Potong sisa besi pra tegang (<i>bottom</i>)
		12.8	Bersihkan dengan sikat baja sisa potongan <i>blander</i>
		12.9	Tutup lubang <i>PC Bar</i>
		12.10	Ratakan menggunakan semen <i>grout</i>
		12.11	Gerinda permukaan plat sambung sampai rata
		12.12	Bersihkan dari bekas air semen
		12.13	Jika terjadi sirip bekas sambungan cetakan, lakukan perataan permukaan
		12.14	Jika terjadi <i>plint</i> antara plat sambung dengan beton spun pile, gerinda permukaan yang terdapat <i>plint</i> hingga rata dengan plat sambung
		12.15	Lakukan pengecatan pada plat sambung dengan dua lapis pengecatan
		12.16	QC inspektor melakukan inspeksi final dan mencatat bila terjadi penyimpangan terhadap produk
		12.17	QC inspektor memberikan label QC <i>Passed</i> pada produk yang lolos inspeksi akhir

Tabel 1 merupakan HTA dari produksi *concrete spun pile* yang terdiri dari dua belas (12) *task* dan setiap *task* terdiri dari beberapa subtask yang totalnya berjumlah 159 subtask.

b. Menilai *Commond Performance Condition* (CPC)

Pemilihan nilai CPC mempertimbangkan pendapat dari ahli dengan melihat sembilan (9) jenis CPC. Hasil penilaian CPC bertujuan agar dapat mengetahui faktor atau kondisi yang berpengaruh pada kinerja kognitif manusia saat melakukan produksi *concrete spun pile*. Berikut nilai CPC setelah dilakukan diskusi bersama para ahli yang bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *Commond Performance Condition* (CPC)

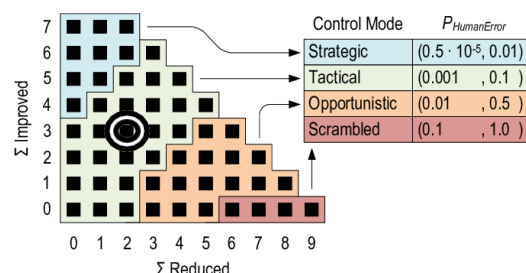
No	Jenis CPC	Tingkatan/Deskripsi	Tingkatan	Dampak
1	Kecukupan organisasi	Kualitas dari dukungan yang disediakan oleh organisasi untuk tugas atau pekerjaan yang dilakukan seperti sistem komunikasi, <i>safety management system</i> , instruksi kerja dan dukungan untuk pihak eksternal, dll	Sangat Efisien	Improved
2	Kondisi pekerjaan	Kondisi fisik seperti pencahayaan, kebisingan, intrupsi dari tugas, dll.	Tidak Sesuai	Reduced
3	Kecukupan dari <i>man machine interface</i> dan	Kualitas <i>Man Machine Interface</i> (MMI) secara umum dan/atau dukungan operasional yang khusus disediakan bagi operator termasuk	Cukup	Not Significant

	dukungan operasional	informasi pada <i>control panel</i> , <i>computerised workstations</i> dan dukungan operasi yang didesain dengan maksud tertentu		
4	Ketersediaan prosedur/perencanaan	Ketersediaan prosedur yang harus dilakukan dan rencana-rencana operasional, prosedur keadaan darurat rutinitas, dll.	Layak	<i>Not Significant</i>
5	Jumlah tugas	Jumlah tugas yang dibutuhkan oleh seseorang untuk dilakukan	Lebih Dari Kapasitas	<i>Reduce</i>
6	Ketersediaan waktu	Ketersediaan waktu untuk melakukan tugas atau tingkat umum tekanan waktu untuk tugas dan jenis situasi	Cukup	<i>Improved</i>
7	<i>Time of day</i>	Waktu dimana tugas dilakukan, apakah sesuai dengan siklus waktu kerja. Hal ini akan memberikan efek pada shift kerja, kualitas kerja, dan performa akan berkurang keefisiensinya jika siklus waktu terganggu	<i>Day-Time</i> (diatur)	<i>Not Significant</i>
8	Kecukupan pelatihan dan pengalaman	Level dan pelatihan operator kepada teknologi terbaru, menyegarkan keahlian yang sudah lama, dan juga tingkat pengalaman suatu pekerjaan.	Cukup, pengalaman terbatas	<i>Not Significant</i>
9	Kualitas Kerjasama pekerja	Kualitas kerjasama dari anggota suatu tim termasuk tumpang tindih antara struktur resmi dan tidak resmi	Sangat Efisien	<i>Improved</i>

Diketahui hasil dari penilaian 9 *Common Performance Condition* (CPC) pada produksi *concrete spun pile* dengan rincian Σ reduced sebanyak 2, Σ not significant sebanyak 4, dan Σ improved sebanyak 3. Hasil penilaian CPC kemudian dipakai untuk tahap selanjutnya yakni *probable control mode* serta dipakai untuk mencari nilai *weighting factor* pada tahap *extended method*.

c. Penentuan *Probable Control Mode*

Probable control mode didapatkan dari kombinasi hasil Σ reduced, Σ not significant, Σ improved pada penilaian sebelumnya. Penilaian CPC pada produksi *concrete spun pile* dengan rincian Σ reduced sebanyak 2, Σ not significant sebanyak 4, dan Σ improved sebanyak 3 sehingga jika diplotkan akan terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Penilaian CPC Produksi *Concrete Spun Pile*

Berdasarkan Gambar 1, maka dapat diketahui bahwa hasilnya berada pada *control mode tactical*. Karakteristik *control mode tactical* yaitu kinerja sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan, namun masih terdapat penyimpangan yang akan terjadi (Satria dkk., 2021).

Tabel 3. Hubungan antara Hasil CPC dengan *Control Mode*

Mode Control	Reliability Interval (probability of action failures)
Strategic	$0.000005 < p < 0.01$
Tactical	$0.0001 < p < 0.1$
Opportunistic	$0.01 < p < 0.5$
Scrambled	$0.1 < p < 1.0$

Berdasarkan Tabel 3. dapat diketahui bahwa nilai probabilitas kegagalan secara umum pada produksi *concrete spun pile* di perusahaan beton pracetak berada pada nilai antara 0,001 – 0,1 yang ditandai dengan blok merah.

2. *Extended method*

Langkah selanjutnya yakni *extended method* yang bertujuan untuk mengetahui kemungkinan kegagalan pada setiap step pekerjaan secara lebih detail. Langkah ini terdiri dari pengembangan kegagalan kognitif pada pekerjaan, pengembangan kegagalan aspek kognitif, penentuan *Cognitive Failure Probability* (CFP), dan perhitungan efek CPC pada CFP. Penentuan *error mode* dan nominal CFP

berdasarkan diskusi antara peneliti dengan para ahli. Pengembangan kegagalan fungsi kognitif dan nilai nominal CFP dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 4. Aspek Kegagalan Kognitif dan Nilai Nominal Batas Kegagalan Fungsi Kognitif

Fungsi Kognitif	Tipe Kegagalan	Batas Nilai Bawah	Nilai dasar	Batas Nilai Atas
<i>Observation</i>	O1. Observasi pada objek yang salah	0.0003	0.001	0.003
	O2. Kesalahan identifikasi	0.0002	0.007	0.017
	O3. Tidak melakukan observasi	0.0002	0.007	0.017
<i>Interpretation</i>	I1. Salah diagnosis	0.009	0.01	0.1
	I2. Keputusan yang salah	0.001	0.01	0.1
	I3. Terlambat dalam menginterpretasi	0.001	0.01	0.1
<i>Planning</i>	P1. Salah prioritas	0.001	0.01	0.1
	P2. Perencanaan yang tidak cukup	0.001	0.01	0.1
<i>Execution</i>	E1. Eksekusi pada Tindakan yang salah	0.001	0.003	0.009
	E2. Eksekusi pada waktu yang salah	0.001	0.003	0.009
	E3. Eksekusi pada objek yang salah	0.0000005	0.000005	0.0005
	E4. Eksekusi di luar urutan	0.001	0.003	0.009
	E5. Eksekusi yang tidak dilakukan	0.025	0.03	0.04

Dari Tabel 4 diatas diketahui nilai *Cognitive Failure Probability* (CFP) dari setiap tipe *error mode* atau kegagalan aspek kognitif. *Cognitive Failure Probability* (CFP) merupakan probabilitas *error* untuk setiap kegagalan kognitif dapat ditentukan dengan mendefinisikan setiap elemen tugas dalam deskripsi tugas. Setelah ditentukan nilai CFP untuk setiap kegagalan aspek kognitif yang mungkin terjadi, maka langkah berikutnya yaitu melakukan penilaian efek CPC pada nilai CFP yang tertera di Tabel 5.

Tabel 5. Penilaian efek CPC pada *Cognitive Failure* Produksi *Concrete spun pile*

Jenis CPC	Tingkatan	Keterangan			
		<i>Observation</i>	<i>Interpretation</i>	<i>Planning</i>	<i>Execute</i>
Kecukupan organisasi	Sangat Efisien	1,00	1,00	0,80	0,80
Kondisi pekerjaan	Tidak Sesuai	2,00	2,00	1,00	2,00
Kecukupan dari man machine interface dan dukungan operasional	Cukup	1,00	1,00	1,00	1,00
Ketersediaan prosedur/perencanaan	Layak	1,00	1,00	1,00	1,00
Jumlah tugas	Lebih Dari Kapasitas	2,00	2,00	5,00	2,00
Ketersediaan Waktu	Cukup	0,50	0,50	0,50	0,50
<i>Time of day</i>	<i>Day-Time</i> (diatur)	1,00	1,00	1,00	1,00
Kecukupan pelatihan dan pengalaman	Cukup, pengalaman terbatas	1,00	1,00	1,00	1,00
Kualitas Kerjasama pekerja	Sangat Efisien	0,50	0,50	0,50	0,50
TOTAL EFEK CPC (<i>WEIGHTING FACTOR</i>)		1	1	1	0,8

Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 5, didapatkan nilai *weighting factor observation* sebesar 1, *weighting factor interpretation* sebesar 1, *weighting factor planning* sebesar 1, dan *weighting factor execution* sebesar 0,8. Nilai ini digunakan untuk mencari nilai *adjusted Cognitive Failure Probability* (CFP) dengan mengalikan nominal CFP dengan *weighting factor*. Hasil Perhitungan nilai *Adjusted CFP* pada produksi *concrete spun pile* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan CREAM

Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
1.1	Memastikan tersedia HIRADC dan tersosialisasikan	O3	0,05	1	0,05
1.2	Memastikan semua rambu terpasang dengan baik dan terbaca dengan jelas	O2	0,06	1	0,06
1.3	Memastikan kelengkapan peralatan kerja dan peralatan safety serta kelayakannya	O1	0,008	1	0,008
1.4	Memastikan kondisi pekerja fit to work	I1	0,09	1	0,09

2.1	Memastikan material cukup dan lolos inspeksi sesuai ITP	I2	0,009	1	0,009
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
2.2	Memastikan tersedianya shop drawing, prosedur, dan petunjuk kerja telah dipahami	I3	0,01	1	0,01
2.3	Memastikan jalur produksi dan kelengkapan peralatan kerja dalam keadaan siap dan bersih	O3	0,04	1	0,04
3.1	Memastikan JMF telah disetujui tersedia	I1	0,095	1	0,095
3.2	Memastikan form inspeksi dan pengujian tersedia	O2	0,05	1	0,05
4.1	Menggunakan APD dan emematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
4.2	Supervisor memastikan material PC Bar dan PC Wire telah sesuai ketentuan	I2	0,01	1	0,01
4.3	Supervisor melakukan pengecekan ulang diameter PC Bar dan PC wire menggunakan jangka sorong	I3	0,01	1	0,01
4.4	Memastikan PC Bar dan PC Wire bebas dari karat, minyak dan lain-lain yang dapat mengurangi lekatan dengan beton.	O2	0,07	1	0,07
4.5	Supervisor Memastikan operator mesin cutting, heading, dan caging telah membaca dan memahami manual book alat yang akan digunakan.	E5	0,03	0,8	0,024
4.6	Supervisor mengecek kondisi alat kerja dalam keadaan baik	I1	0,095	1	0,095
4.7	Inspektur HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
4.8	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
4.9	Pekerja memasang gulungan PC Bar pada mesin roll PC Bar dengan dibantu crane	E1	0,005	0,8	0,004
4.10	Pekerja menggulung PC Wire dari mesin roll PC Wire ke roll caging	E4	0,007	0,8	0,0056
4.11	Operator cutting menyetel stopper mesin cutting PC Bar sesuai ukuran panjang yang direncanakan.	P2	0,013	1	0,013
4.12	Supervisor memeriksa kembali setelan sebelum memulai pemtongan	O1	0,001	1	0,001
4.13	Ujung PC Bar pada mesin roll PC Bar dimasukan pada mesin cutting	E3	0,005	0,8	0,004
4.14	Pelaksanaan cutting dilakukan	E2	0,006	0,8	0,0048
4.15	Hasil potongan PC bar digulirkan pada area Heading	E4	0,003	0,8	0,0024
4.16	Supervisor memeriksa kuantitas dan kualitas hasil potongan PC Bar	I1	0,095	1	0,095
4.17	QC inspector mengecek secara random ukuran PC Bar benar-benar presisi	I3	0,02	1	0,02
4.18	Operator heading menyetel alat heading sesuai ukuran kepala heading yang diinginkan	P1	0,02	1	0,02
4.19	Supervisor memeriksa hasil setelan sebelum alat dioperasikan	O1	0,0015	1	0,0015
4.20	Ujung PC Bar sisi pertama dimasukkan ke mesin heading 1	E3	0,0015	0,8	0,0012
4.21	Tekan tombol ON mesin heading pertama, kemudian dilepas	E1	0,006	0,8	0,0048
4.22	Masukkan ujung PC Bar sisi kedua ke mesin heading 2	E3	0,002	0,8	0,0016
4.23	Tekan tombol ON mesin heading kedua, kemudian dilepas	E1	0,006	0,8	0,0048
4.24	Supervisor memeriksa suhu alat pada saat dilakukan heading dengan menggunakan thermogun tipe industri setiap 30 menit secara berkala	O2	0,05	1	0,05
4.25	QC inspektur mengecek kualitas hasil pekerjaan heading	I1	0,095	1	0,095

4.26	Operator caging memasang dan menyetel piringan baja sesuai dengan diameter spun pile yang akan diproduksi	E1	0,003	0,8	0,0024
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
4.27	Supervisor mengecek sebelum alat dioperasikan	I2	0,01	1	0,01
4.28	Masukkan PC Bar dengan panjang yang sudah ditentukan ke dalam lubang piringan baja dengan jumlah dan posisi PC Bar sesuai tipe yang direncanakan.	E3	0,0015	0,8	0,0012
4.29	Operator mensetting jarak PC Wire pada posisi ujung dan tengah PC Bar pada panel mesin caging	P2	0,013	1	0,013
4.30	Operator menghidupkan mesin caging sampai pengelasan selesai pada ujung PC Wire	E5	0,03	0,8	0,024
4.31	Hasil perakitan dipindahkan ke area stok rakitan	E4	0,002	0,8	0,0016
4.32	Supervisor memeriksa kuantitas dan kualitas hasil pekerjaan caging	I1	0,095	1	0,095
4.33	QC inspector memeriksa satu per satu hasil produk caging memberikan tanda QC Pass	O2	0,05	1	0,05
5.1	Gunakan APD dan Mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
5.2	Supervisor memastikan rakitan PC Bar yang akan di-assembly sudah terdapat tanda QC Pass proses caging	I1	0,095	1	0,095
5.3	Supervisor memastikan pekerja assembly telah memahami instruksi kerja	E5	0,03	0,8	0,024
5.4	Supervisor mengecek kembali kondisi joint plate dan sepatu pancang dalam keadaan baik	I1	0,1	1	0,1
5.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
5.6	Pekerja menempatkan posisi rakitan PC Bar ke lokasi assembling	E1	0,002	0,8	0,0016
5.7	Pekerja menyiapkan joint plate dan sepatu pancang precast sesuai dengan diameter spun pile yang akan diproduksi	P2	0,05	1	0,05
5.8	Letakkan rakitan PC Bar di atas meja lory kecil	E1	0,002	0,8	0,0016
5.9	Letakkan ujung join plate/sepatu pancang precast pada ujung PC Bar	E3	0,0015	0,8	0,0012
5.10	Masukkan ujung rakitan PC Bar ke dalam lubang plat sambung/sepatu pancang percate	E3	0,002	0,8	0,0016
5.11	Hasil assembling siap disetting ke dalam cetakan bawah secara hati-hati	O1	0,001	1	0,001
5.12	QC inspector memeriksa hasil assembling dan memberi tanda QC Pass proses assembly.	I1	0,095	1	0,095
6.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
6.2	Supervisor memastikan assembly rakitan sudah terdapat tanda/label QC Pass proses assembly	O2	0,04	1	0,04
6.3	Supervisor memastikan plat sambung (joint plate) dan sepatu pancang sudah terdapat tanda/label QC Pass	O2	0,06	1	0,06
6.4	Supervisor memastikan baut yang ada di area produksi dalam keadaan layak (tidak bengkok dan tidak aus)	I1	0,1	1	0,1
6.5	Supervisor memastikan tidak ditemukan retak pada inner plate, end plate maupun shaft rod.	I1	0,1	1	0,1
6.6	Supervisor memastikan pekerja setting rakitan telah memahami intruksi kerja dan syarat keberterimaan proses setting	E5	0,03	0,8	0,024
6.7	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
6.8	Masukkan assembling rakitan ke dalam cetakan bawah dengan hati-hati menggunakan gantry/OH crane yang dilengkapi dengan spreader beam	E1	0,002	0,8	0,0016

6.9	Cek ulang plat sambung sebelum dilakukan pemasangan tension plate	I2	0,01	1	0,01
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
6.10	Sambungkan ujung rakitan dengan tension plate yang sudah tersambung dengan shaft menggunakan baut	E3	0,003	0,8	0,0024
6.11	Sambungkan ujung rakitan satunya ke end plate menggunakan baut	E3	0,003	0,8	0,0024
6.12	Supervisor dan QC Inspektor memeriksa hasil setting rakitan sesuai dengan form ceklist pemasangan rakitan spun pile	I1	0,095	1	0,095
6.13	Setelah lolos pemeriksaan QC, setting rakitan di cetakan bawah siap dikirm ke bagian pengecoran dengan OH/Gantri crane	E4	0,008	0,8	0,0064
7.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
7.2	Supervisor memastikan kesiapan troli	O2	0,015	1	0,015
7.3	Supervisor memastikan kebersihan area rel troli dari sisa material beton pengecoran sebelumnya	O3	0,015	1	0,015
7.4	Supervisor memastikan pekerja pengecoran telah memahami instruksi kerja dan syarat keberterimaan proses pengecoran	E5	0,03	0,8	0,024
7.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
7.6	Supervisor memastikan kesiapan moulding bagian atas dalam kondisi baik	O2	0,05	1	0,05
7.7	Angkat moulding bawah yang sudah berisi setting rakitan dengan OH/Gantri crane dan letakkan di atas troli	E1	0,005	0,8	0,004
7.8	Pengisian beton ready mix dari batching plant ke hopper dengan volume sesuai tabel volume spun pile	P2	0,008	1	0,008
7.9	Tuangkan beton ready mix ke dalam cetakan secara merata dari ujung ke ujung	E4	0,002	0,8	0,0016
7.10	Gunakan plat tebeng pada sisi cetakan untuk menghindari tumpahnya beton ready mix ke luar cetakan	E5	0,03	0,8	0,024
7.11	Gunakan besi rojok untuk membantu beton ready mix masuk ke dalam rakitan dan cetakan	E1	0,005	0,8	0,004
7.12	Pastikan semua beton di dalam hopper cor tertuang habis dalam cetakan	O3	0,05	1	0,05
7.13	Bersihkan bibir moulding dari sisa tumpahan beton menggunakan sendok semen, kuas atau kain majun	E1	0,007	0,8	0,0056
7.14	Pasang moulding bagian atas	E1	0,002	0,8	0,0016
7.15	Penguncian baut cetakan dengan menggunakan alat impact gun	E1	0,002	0,8	0,0016
7.16	Moulding yang sudah selesai ditutup dikirim ke area stressing menggunakan troli	E4	0,007	0,8	0,0056
8.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
8.2	Supervisor memastikan kesiapan alat stressing dan cetakan beton	O2	0,05	1	0,05
8.3	Supervisor memastikan operator stressing telah memahami intruksi kerja dan syarat keberterimaan proses stressing	E5	0,03	0,8	0,024
8.4	QC inspektor memastikan alat stressing beserta alat ukurnya sudah terkalibrasi dan layak operasi	O2	0,06	1	0,06
8.5	Engineering menginformasikan batasan jacking force dan elongasi yang dipakai sesuai dengan tabel stressing PC Spun pile	E5	0,03	0,8	0,024
8.6	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05

8.7	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
8.8	Tempatkan posisi meja stressing pada ujung cetakan memanjang	E1	0,005	0,8	0,004
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
8.9	Masukkan coupler stressing ke shaft cetakan	E3	0,003	0,8	0,0024
8.10	Coupler yang sudah terpasang di shaft dimasukkan ke rumah jack stressing	E3	0,01	0,8	0,008
8.11	Hidupkan mesin stressing (ON)	E1	0,002	0,8	0,0016
8.12	Lakukan peregang awal	E5	0,03	0,8	0,024
8.13	Penarikan dimulai dengan memperhatikan angka manometer sesuai dengan besar tegangan dan elongasi yang sudah direncanakan	E2	0,005	0,8	0,004
8.14	Hentikan penarikan/stressing setelah angka manometer menunjukkan angka yang direncanakan	E2	0,005	0,8	0,004
8.15	Lakukan pencatatan besar tegangan dan elongasi	E5	0,03	0,8	0,024
8.16	Lepas coupler dari rumah jack stressing dan cetakan untuk dilanjutkan ke proses spinning	E4	0,002	0,8	0,0016
9.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
9.2	Supervisor memastikan mesin spinning dalam keadaan baik dan layak operasi	O2	0,05	1	0,05
9.3	Supervisor memastikan operator spinning telah memahami instruksi kerja dan tahapan proses spinning	E5	0,03	0,8	0,024
9.4	QC inspektor memastikan alat ukur RPM sudah terkalibrasi	O2	0,05	1	0,05
9.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O2	0,05	1	0,05
9.6	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
9.7	Cetakan ditempatkan di atas as/rol spinning	E1	0,003	0,8	0,0024
9.8	Mesin spinning dihidupkan	E1	0,005	0,8	0,004
9.9	Mesin spinning diputar sesuai tabel tahapan proses spinning	E2	0,005	0,8	0,004
9.10	Operator mencatat RPM dan waktu putaran	E5	0,03	0,8	0,024
9.11	Pengentian putaran dilakukan secara bertahap	E4	0,005	0,8	0,004
9.12	Angkat cetakan	E1	0,002	0,8	0,0016
9.13	Buka tutup end plate dan buang ke limbah bak limbah	E1	0,002	0,8	0,0016
9.14	Pindahkan cetakan ke bak steam menggunakan OH Gantry	E4	0,002	0,8	0,0016
10.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
10.2	Supervisor memastikan bak steam dan mesin steam dalam keadaan baik dan layak operasi	O2	0,05	1	0,05
10.3	Supervisor memastikan operator steam telah memahami intruksi kerja dan tahapan proses steam	E5	0,03	0,8	0,024
10.4	QC Inspektor memastikan alat pengukur suhu steaming telah terkalibrasi	O2	0,04	1	0,04
10.5	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
10.6	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
10.7	Cetakan ditempatkan di dalam bak steam dan disusun sesuai kapasitas bak steam	E1	0,006	0,8	0,0048
10.8	Operator mencatat jam masuk	E5	0,03	0,8	0,024
10.9	Tutup bak steam dengan penutup yang sudah disediakan	E1	0,002	0,8	0,0016

10.10	Cetakan tiang pancang didiamkan selama 1 jam dari cetakan terakhir yang masuk ke dalam bak steam	E2	0,006	0,8	0,0048
10.11	Buka katup uang panas dari boiler ke bak steam secara bertahap sampai maksimum mencapai suhu 70	E2	0,006	0,8	0,0048
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
10.12	Setelah didiamkan 120 menit, katup uang panas dari boiler secara bertahap ditutup hingga suhu kembali ke suhu kamar.	E2	0,006	0,8	0,0048
10.13	Setelah proses penguapan setelah 300 menit atau 5 jam, bak steam dibuka sampai uap panas keluar dari bak steam.	E2	0,006	0,8	0,0048
10.14	Cetakan dikeluarkan ke area pendinginan sekitar 1 jam dan cetakan atas sudah bisa dibuka	E2	0,006	0,8	0,0048
10.15	Operator melakukan pencatatan waktu dan suhu pada saat dilakukan steaming	E5	0,03	0,8	0,024
11.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
11.2	Supervisor memastikan alat impact gun dalam keadaan baik dan layak operasi	O2	0,05	1	0,05
11.3	Supervisor memastikan operator dan pekerja telah memahami intruksi kerja dan tahapan proses pembukaan cetakan	E5	0,03	0,8	0,024
11.4	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
11.5	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
11.6	Pastikan pasir dalam bak beton sebagai alas bukaan dalam keadaan rata dan datar	O1	0,002	1	0,002
11.7	Cetakan yang sudah selesai proses pendinginannya diletakkan di atas pasir dalam bak beton	E1	0,002	0,8	0,0016
11.8	Buka end plate dengan melepas baut menggunakan impact gun	E1	0,002	0,8	0,0016
11.9	Mur cetakan dilepas menggunakan impact gun	E1	0,002	0,8	0,0016
11.10	Setelah semua mur dan baut cetakan dilepas, cetakan atas diangkat menggunakan OH gantri	E1	0,002	0,8	0,0016
11.11	Spun pile dikeluarkan dari cetakan bawah dengan menggulingkannya di atas pasir, atau diangkat dengan menggunakan suction crane	E1	0,007	0,8	0,0056
11.12	Operator mencatat jam angkat dan jam buka cetakan	E5	0,03	0,8	0,024
11.13	Test mutu beton dengan hammer test	I1	0,095	1	0,095
11.14	QC inspektor melakukan inspeksi produk akhir menggunakan form checklist pasca demoulding	I1	0,095	1	0,095
12.1	Gunakan APD dan mematuhi aturan K3L	E5	0,03	0,8	0,024
12.2	Supervisor memastikan semua peralatan dan material tersedia	O2	0,05	1	0,05
12.3	Supervisor memastikan semua pekerjaan telah memahami instruksi kerja dan tahapan proses finishing	E5	0,03	0,8	0,024
12.4	Inspektor HSE memastikan semua pekerja menggunakan APD lengkap (Safety Helm, Safety Shoes, Safety Vest, dan sarung tangan)	O3	0,05	1	0,05
12.5	Supervisor memimpin tool box meeting setiap akan memulai pekerjaan dan melakukan transfer informasi dari shift sebelumnya	E5	0,03	0,8	0,024
12.6	Membuat label identitas (nomor produksi, nomor urut produksi dan tipe spun pile)	E5	0,03	0,8	0,024
12.7	Potong sisa besi pra tegang (bottom)	E1	0,005	0,8	0,004
12.8	Bersihkan dengan sikat baja sisa potongan blander	E1	0,005	0,8	0,004
12.9	Tutup lubang PC Bar	E1	0,005	0,8	0,004
12.10	Ratakan menggunakan semen grout	E1	0,005	0,8	0,004
12.11	Gerinda permukaan plat sambung sampai rata	E1	0,005	0,8	0,004

12.12	Bersihkan dari bekas air semen	E1	0,005	0,8	0,004
12.13	Jika terjadi sirip bekas sambungan cetakan, lakukan perataan permukaan	E1	0,005	0,8	0,004
12.14	Jika terjadi plint antara plat sambung dengan beton spun pile, gerinda permukaan yang terdapat plint hingga rata dengan plat sambung	E1	0,005	0,8	0,004
Subtask		Error Mode	Nominal CFP	Weight Factor	Adjusted CFP
12.15	lakukan pengecatan pada plat sambung dengan dua lapis pengecatan	E1	0,007	0,8	0,0056
12.16	QC inspektor melakukan inspeksi final dan mencatat bila terjadi penyimpangan terhadap produk	I1	0,095	1	0,095
12.17	QC inspektor memberikan label QC Passed pada produk yang lolos inspeksi akhir	O2	0,05	1	0,05

Tabel 6. merupakan rekapitulasi hasil perhitungan *human error* menggunakan *Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (CREAM). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode CREAM, baik *basic* maupun *extended*, diperoleh bahwa nilai probabilitas kesalahan manusia (*human error*) dalam proses produksi *concrete spun pile* berada pada rentang kontrol *mode tactical*, yaitu antara 0,001 hingga 0,1. Perhitungan tahap *extended method* memberikan gambaran yang lebih rinci karena mampu menunjukkan nilai probabilitas pada setiap *subtask*, dibandingkan *basic method* yang hanya memberikan nilai secara keseluruhan. Yang dimana pada *extended method*, hasil *adjusted CFP* didapatkan dari perkalian antara nominal CFP dan *weighting factor*. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa terdapat nilai tertinggi yaitu 0,1 yang ditandai dengan blok warna merah dengan rincian *subtask* 5.4 yaitu Supervisor mengecek kembali kondisi *joint plate* dan sepatu pancang dalam keadaan baik, *subtask* 6.4 yaitu Supervisor memastikan baut yang ada di area produksi dalam keadaan layak (tidak bengkok dan tidak aus), dan *subtask* 6.5 yaitu Supervisor memastikan tidak ditemukan retak pada *inner plate*, *end plate* maupun *shaft rod*. Nilai *adjusted CFP* yang tertinggi merupakan langkah pekerjaan yang memiliki fungsi kognitif *interpretation* dengan jenis kegagalan I1 yaitu kesalahan dalam interpretasi. Faktor penyebab terjadinya kegagalan tersebut dipengaruhi banyak hal seperti kurangnya pemahaman teknis mengenai standar maupun parameter toleransi kesalahan, dalam prosedur maupun intruksi kerja tidak adanya panduan pengecekan visual, tidak adanya evaluasi dalam pelaksanaan pembaruan prosedur maupun intruksi kerja dan kurangnya alat bantu digital untuk meminimalisir kesalahan pembacaan hasil pengecekan. Selain itu, tidak adanya pelatihan rutin untuk supervisor maupun QC inspektor sehingga sistem pengawasan tidak berjalan secara optimal. Rekomendasi disusun berdasarkan hierarki pengendalian sesuai Permenaker No. 5 Tahun 2018, mencakup pengendalian eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif, hingga pemakaian alat pelindung diri (APD). Secara umum, pengendalian eliminasi sulit diterapkan karena komponen yang terlibat bersifat esensial. Namun, upaya lain seperti sistem penyimpanan baut dan material berbasis kode warna, pembaruan instruksi kerja dan *checklist* inspeksi pada setiap tahap produksi, pelatihan internal bagi supervisor dan QC, audit rutin minimal dua kali setahun sesuai PP No. 50 Tahun 2012. Serta penggunaan APD yang tepat dinilai dapat menurunkan risiko kesalahan kerja dan mendukung proses produksi yang lebih aman dan efisien.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kemungkinan *human error* yang telah dilakukan pada produksi *concrete spun pile* dengan menggunakan CREAM melalui tahapan *basic method* menghasilkan *control mode tactical mode* dimana memiliki rentang nilai *human error* antara 0,001 sampai 0,1. Sedangkan melalui tahapan *extended method* menghasilkan nilai *adjusted CFP* pada setiap *subtask* dengan nilai *adjusted CFP* tertinggi sebesar 0,1 yaitu pada *subtask* 5.4 yaitu Supervisor mengecek kembali kondisi *joint plate* dan sepatu pancang dalam keadaan baik, *subtask* 6.4 yaitu Supervisor memastikan baut yang ada di area produksi dalam keadaan layak (tidak bengkok dan tidak aus), dan *subtask* 6.5 yaitu Supervisor memastikan tidak ditemukan retak pada *inner plate*, *end plate* maupun *shaft rod*. Dan nilai *adjusted CFP* terendah ada pada *subtask* 4.12 dan 5.11 dengan nilai 0,001.

Hasil dari analisis menunjukkan bahwa penyebab *human error* terjadi karena yaitu tidak adanya pembaruan instruksi kerja dan audit teknis rutin, belum ditetapkannya parameter inspeksi secara kuantitatif, serta tidak adanya evaluasi berkala terhadap efektivitas metode pemeriksaan. Kondisi ini menyebabkan penilaian kualitas komponen masih bergantung pada inspeksi visual, sehingga berisiko melewatkan kerusakan kecil. Rekomendasi yang dapat diberikan untuk meminimalisir terjadinya *human error* yaitu sistem penyimpanan baut dan material berbasis kode warna, pembaruan instruksi kerja dan *checklist* inspeksi pada setiap tahap produksi, pelatihan internal bagi supervisor dan QC, audit rutin minimal dua kali dalam setahun. Serta penggunaan APD yang sesuai dapat menjadi strategi efektif untuk mengurangi potensi kesalahan manusia dan meningkatkan keselamatan serta kualitas dalam proses produksi *concrete spun pile*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya, K. F., & Fahma, F. (2020). Analisis Postur Kerja Pekerja Produksi Spun Pile dengan Metode REBA di PT Waskita Beton Precast Plant Prambon. *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2020, November*, 1–10. <https://idec.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/IDEC2020/PROSIDING/ID043.pdf>
- Dewan Perwakilan Rakyat, & Presiden. (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2007 Tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2005-2025*. <https://doi.org/10.1080/00102208008946937>
- Gati, M. W., Wahyuni, I., & Ekawati. (2020). Analisis Penyebab Human error Terhadap Kejadian Kecelakaan pada Teknisi di Perusahaan Otomotif X Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(5), 665–671. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm/article/view/27948>
- Hollnagel, E. (1998). Cognitive Reliability and Error Analysis Method. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Nomor 1).
- Kemnaker. (2018). Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. 5/2018 K3 Lingkungan Kerja. *Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2018*, 5, 11.
- Kurniawan, I. A., Handoko, L., & Amrullah, N. (2023). Analisis Probabilitas Human error pada Pekerjaan Penggantian Bearing Gearbox Trolley Container Crane dengan Menggunakan Metode CREAM. 2581.
- 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 Teknik). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* <https://jurnal.unibrah.ac.id/index.php/JIWP>, 8(5), 99–104. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6408870>
- Maulida Alifia, Z., Santiasih, I., & Handoko, L. (2015). Human Reliability Analysis Dengan Pendekatan Cognitive Reliability and Error Analysis Method (Cream). *J@Ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.12777/jati.10.1.1-6>
- Nur, M. (2019). Analisa Kecelakaan Kerja Dengan Menggunakan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) (Studi Kasus: PT. XYZ). *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 2(2), 30–37. <https://doi.org/10.31004/jutin.v2i2.480>
- Putri, K. W., & Assidiq, F. M. (2022). ANALISIS FAKTOR PENGHAMBAT PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN K3 SERTALANGKAH MENCIPTAKAN SAFETY CULTURE TERHADAPPT. GUNANUSAUTAMAFABRICATORS.pdf.
- Restiana, A., Adisuwiryo, S., & Rahmawati, N. (2023). Meminimasi Human error Dengan Job Safety Analysis (JSA), Metode CREAM DAN HIRARC Pada Plant WTM 16 Di PT. XYZ. *Jurnal Optimasi Teknik Industri (JOTI)*, 5(2), 53. <https://doi.org/10.30998/joti.v5i2.16563>
- Salmon, P., Stanton, N., & Walker, G. (2003). Human Factors Design Methods Review. *Hfidtc/Wp1, November*. <http://www.hfidtc.org/research/methods/methods-reports/phase-1/hf-design-methods-review.pdf>
- 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>
- Ulfah, S. N., Natsir, H., Dika, A., & Widiana, R. (2024). Analisis Human error Probability pada Pekerjaan Scaffolding dengan Pendekatan Metode CREAM. 2(2), 33–40.
- Widharto, Y., Iskandari, D., & Nurkertamanda, D. (2018). Analisis Human Reliability Assessment Dengan Metode Heart (Studi Kasus Pt Abc). *J@ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 13(3), 141. <https://doi.org/10.14710/jati.13.3.141-150>