

ANALISIS *HUMAN RELIABILITY* PADA OPERATOR BAGIAN MAINTENANCE MESIN 2 DENGAN METODE *HUMAN ERROR* ASSESSMENT AND REDUCTION TECHNIQUE DI PT. PJB UP PAITON TAHUN 2013

Astri Arini, Mulyono

Departemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Airlangga
Email: astri.arini@yahoo.co.id

ABSTRACT

Operators have considerable contribution in the operation of the system through its role in the completion of their work. Therefore it is important to know the operator's reliability (human reliability). The levels of human reliability is determined by calculating the potential in making mistakes, known as human error. Human error is influenced by the inadequate system design, the working bad situation, the high complexity of the work, the characteristics of human behavior, the mental and physical fatigue, the working environment and organizational policies. The main objective of this study is to analyze the reliability of the human operators to control the occurrence of human error. This study was an observational with cross-sectional approach. The study was conducted on 13 operators maintenance machine 2 in coal handling system PT. PJB UP Paiton. Data were collected by means of interview and observation. Data were obtained analyzed using Hierarchical Task Analysis (HTA) and Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART). The results showed that most of the operators did not wear Personal Protective Equipment (PPE), possible error were widely found in preventive maintenance belt conveyor 1 and belt conveyor 2, the high score (HEP = 0.4276) of human unreliability was found in operators working instruction in wire rope unit, as whole the system reliability was still low, and the majority (80%) of operators were still unreliable in doing their job. To control the occurrence of human error, companies is suggested to provide a training on hazard identification and self-management, improve work instruction, and increase the application of work instruction as well as strictly supervise the wearing Personal Protective Equipment (PPE) during works.

Keywords: *human error, human reliability, HEART*

ABSTRAK

Operator memiliki kontribusi yang cukup besar dalam operasi sistem melalui perannya dalam penyelesaian pekerjaan. Oleh karena itu penting untuk mengetahui keandalan operator (*human reliability*). Tingkat *human reliability* ditentukan dengan memperhitungkan potensinya untuk melakukan kesalahan, dikenal dengan *human error*. *Human error* dipengaruhi desain sistem yang tidak memadai, situasi kerja yang buruk, tingginya kompleksitas pekerjaan, karakteristik perilaku manusia, kelelahan fisik dan mental, lingkungan kerja serta kebijakan organisasi. Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menganalisis *human reliability* pada operator guna mengendalikan terjadinya *human error*. Penelitian ini merupakan penelitian observasional dengan pendekatan *cross-sectional*. Penelitian dilakukan pada 13 operator *maintenance* mesin 2 di *coal handling system* PT. PJB UP Paiton. Data diperoleh dari hasil wawancara dan observasi. Data yang didapat dianalisis dengan menggunakan *Hierarchical Task Analysis* (HTA) dan *Error Assessment and Reduction Technique* (HEART). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar operator tidak memakai Alat Pelindung Diri (APD), *possible error* terbanyak ditemukan pada *preventive maintenance belt conveyor* 1 dan *belt conveyor* 2, nilai tertinggi (HEP = 0,4276) *human unreliability* ditemukan pada operatoran *wire rope*, secara keseluruhan keandalan sistem masih rendah, dan mayoritas (80%) operator tidak handal dalam melaksanakan pekerjaan mereka. Untuk mengendalikan terjadinya *human error*, perusahaan disarankan untuk memberikan pelatihan tentang identifikasi bahaya dan manajemen diri, perbaikan *work instruction*, dan meningkatkan penerapan *work instruction* maupun memperketat pemakaian Alat Pelindung Diri (APD) selama bekerja.

Kata kunci: *human error, human reliability, HEART*

PENDAHULUAN

International Labour Organization (ILO) menilai Indonesia sebagai negara dengan kecelakaan

kerja yang tinggi. Penelitian yang diadakan ILO pada tahun 2009 mengenai standar kecelakaan kerja, Indonesia menempati urutan ke-152 dari

153 negara yang diteliti. Hal tersebut menunjukkan masih buruknya perhatian terhadap Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di Indonesia. Pada tahun 2010 di Indonesia setiap seratus ribu tenaga kerja terdapat dua puluh orang yang mengalami kecelakaan kerja yang fatal di mana kecelakaan kerja tersebut menyebabkan kerugian pada negara berkembang termasuk Indonesia sebesar 4% dari *Gross National Product* (ILO, 2010).

Kecenderungan untuk celaka adalah kenyataan bahwa operator tertentu cenderung untuk mengalami kecelakaan (*accident prone*). Penelitian menunjukkan, bahwa 85% penyebab kecelakaan bersumber kepada faktor manusia. Korban kecelakaan kerja mengeluh dan menderita, sedangkan sesama operator ikut bersedih dan berduka cita. Kecelakaan seringkali disertai terjadinya luka, kelainan tubuh, cacat bahkan juga kematian. Data kecelakaan kerja Indonesia atas populasi tenaga kerja 7–8 juta menunjukkan 100.000 peristiwa kecelakaan kerja dengan hilang hari kerja setiap tahunnya dan kerugian rata-rata Rp 100–200 miliar per tahunnya (Suma'mur, 2009).

Kefatalan yang terjadi di dunia industri selama ini sering dikaitkan dengan kondisi mesin yang kurang begitu handal, namun tak pernah berfokus pada subjek pemeran aktivitas, yaitu manusia. *Human error* yang terjadi pada manusia merupakan faktor internal penentu kesejahteraan industri.

Manusia merupakan salah satu faktor ergonomi kognitif di mana setiap manusia dapat lalai dan berbuat kesalahan dalam melakukan suatu tindakan atau operatoran. Kelalaian atau kesalahan yang dilakukan manusia adalah satu fakta dalam hidup yang tidak bisa dipungkiri. Lalai atau berbuat salah adalah satu hal yang manusiawi. Walaupun berbuat kesalahan adalah manusiawi tetapi hal ini harus sedapat mungkin dihindari dan harus diminimalisir agar tidak terjadi kefatalan yang cukup serius. Keberadaan kesalahan manusia (*human error*) dapat menjadi masalah dalam beberapa hal yang berkaitan dengan keselamatan manusia, efektivitas, operasi, waktu, kerugian ekonomis dan lain-lain. Tidak seorang pun dapat melakukan suatu tindakan lebih dari sekali dengan ketepatan yang sama. Setiap tindakan *error* yang dilakukan seseorang merupakan suatu kemungkinan terjadinya *error* (Pulat, 1992).

PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton merupakan industri kelistrikan yang mengoperasikan

pembangkit PLTU dengan menggunakan batubara dan solar (untuk *start* awal) sebagai sumber energinya. *Feedwater system* merupakan sistem yang sangat penting dan sensitif bagi kelangsungan hidup suatu *power plant*. *Feedwater system* pada *power plant* adalah sangat penting untuk menyuplai secara terus-menerus *preheated feedwater* kualitas tinggi untuk mencukupi kebutuhan *boiler* pada berbagai kondisi beban. *Feedwater system* merupakan salah satu sistem yang kompleks yang mendukung beroperasinya suatu *power plant*. Adanya kemungkinan kegagalan yang sulit diprediksi kapan akan terjadi dan berapa kerugiannya, akan menjadi salah satu penyebab produksi akan terganggu atau terhenti.

Kegagalan yang terjadi selama pengoperasian akan berdampak pada ketidaknyamanan dari operator dan pada lingkungan di mana peralatan sistem dapat dioperasikan. Kerusakan pada salah satu komponen akan menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada seluruh *power plant*. Akibatnya dapat menimbulkan kerusakan *power plant* dan membahayakan kehidupan manusia di sekitar *power plant*. Keamanan dan keselamatan pengoperasian *power plant* akan dapat terpenuhi jika sistem yang ada di *power plant* dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Hal ini melatarbelakangi kebutuhan dilakukannya suatu penelitian untuk mengetahui setiap potensi bahaya karena adanya *human error*, sehingga nantinya diharapkan mampu memberikan rekomendasi pemberian *treatment* yang tepat untuk setiap tindakan *error* yang dilakukan oleh operator pada bidang *maintenance* mesin 2. Operatoran pada *maintenance* mesin 2 terdiri dari 3 bagian besar yaitu pada *ash handling system*, *coal handling system* serta alat berat yang masing-masing mempunyai potensi untuk terjadi *human error*.

Penelitian ini terfokus pada identifikasi *human error* di *coal handling system* serta lebih spesifik pada operator *gantry*, *grab bucket*, *wire rope*, *belt conveyor* 1 dan *belt conveyor* 2, di mana bagian tersebut terjadi kecelakaan dalam beberapa tahun terakhir yaitu pada tahun 2009 hingga 2012.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis *human reliability* pada operator *maintenance* mesin 2 di PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton untuk mengendalikan *human error* dengan Metode *Human Error Assessment And Reduction Technique*.

METODE

Penelitian yang dilaksanakan adalah penelitian observasional. Berdasarkan tempat penelitian, ini merupakan penelitian lapangan yang dilakukan dengan rancang bangun *cross-sectional*, karena pengamatan dilakukan pada suatu saat atau periode tertentu. Menurut analisis, penelitian ini bersifat deskriptif, karena penelitian bertujuan utama menggambarkan atau mendeskripsikan suatu keadaan secara objektif tentang analisis *human reliability* untuk mengendalikan *human error* (Notoatmodjo, 2005).

Objek penelitian yang digunakan adalah semua operator tetap (operator dan asisten operator) di bagian *maintenance* mesin 2 PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton terutama pada *Coal Handling System* yang berjumlah 13 orang dan semua dijadikan subjek penelitian.

Penelitian dilakukan di PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton pada unit pemeliharaan mesin 2 dan spesifik pada operatoran pemeliharaan *gantry*, *grab bucket*, *wire rope*, *belt conveyor* 1 serta *belt conveyor* 2 yang berlokasi di Jalan Raya Surabaya-

Situbondo KM. 142, Probolinggo, Jawa Timur. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2012 hingga Mei 2013.

Variabel penelitian meliputi *human reliability assessment*, *hierarchical task analysis*, HEART, *human error*, serta *unsafe action*. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dengan metode *indepth interview*, observasi, serta data sekunder seputar kecelakaan kerja dan instruksi kerja operator *maintenance* mesin 2 terlebih pada area *coal handling system*. Analisis data menggunakan metode HTA serta HEART yang kemudian disajikan dalam bentuk narasi.

HASIL PENELITIAN

Hierarchical Task Analysis pada 5 Operatoran Preventive Maintenance Mesin 2 Beserta Penilaian Expert Judgement

HTA memberikan gambaran yang jelas tentang langkah pengerjaan suatu *task*. Di mana seorang *Expert Judgement* secara objektif memberikan penilaian tentang kesesuaian antara Standar

Tabel 1. *Hierarchical Task Analysis* Langkah Kerja Preventive Maintenance Gantry pada Mesin 2 PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton

Task	Penilaian	
	Sesuai	Tidak Sesuai
Proses Preventive Maintenance Gantry	-	-
<i>Plan</i> : Lakukan <i>task</i> 1 sampai 6 secara berurutan	-	-
Persiapan Safety and Working Permit (Form PA-FR-8-03-70-08)	-	-
<i>Plan</i> : Lakukan secara berurutan	-	-
Ambil lembar <i>Safety Working Permit</i>	√	-
Pengisian lembar <i>Safety Working Permit</i>	√	-
Penandatanganan <i>Safety Working Permit</i> oleh Supervisor (K3, Produksi, Pemeliharaan), pendamping lapangan dan pihak ke-3	√	-
Distribusi <i>Safety Working Permit</i> berdasarkan <i>Plan</i> : Lakukan secara berurutan	-	-
Lembar putih untuk K3	√	-
Lembar merah untuk pelaksana		
Lembar kuning untuk <i>Control Room</i>		
Lembar hijau untuk Operator Lokal		
Persiapan peralatan kerja yang digunakan	√	-
Alat-alat Kerja: Grease Pump, Kunci Set, Literan Oli, Palu, Jerigen, Ember		
Pemakaian APD	-	√
APD: Safety Shoes, Safety Helmet, Ear Plug, Safety Goggle, Masker, Sarung Tangan		

Task	Penilaian	
	Sesuai	Tidak Sesuai
Koordinasi dengan Operator	√	-
Memastikan lingkungan aman untuk bekerja	√	-
Pelaksanaan Pekerjaan	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Periksa <i>Gear Box</i> Level Oil	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Periksa level oil	√	-
Pastikan level oli minimum 50% dan maksimum 75%	-	-
Periksa kondisi oli	√	-
Pemeriksaan secara visual apabila warna mulai keruh (cokelat/hitam) maka oli harus diganti	-	-
Pelumasan <i>Open Gear</i>	-	√
Pemberian <i>greas</i> pada <i>gear</i>	-	-
Periksa <i>Hydrolic System Rail Clamp</i>	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Persiapan pelaksanaan test	√	-
Pemeriksaan kebocoran oli	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Pembuatan laporan kepada operator lokal	-	√
Pembuatan Laporan adanya kebocoran oli ke Rendal Har	√	-
Perbaiki kebocoran oli setelah adanya WO	√	-
Periksa kondisi roda <i>gantry</i>	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Bearing	√	-
Identifikasi putaran, suara dan keausan	-	-
Keausan	-	-
<i>Plan:</i> Lakukan secara berurutan	-	-
Lakukan pemeriksaan secara visual	√	-
Periksa adanya kerusakan	√	-
Kerusakan Roda	√	-
Periksa pergeseran roda	-	-
Periksa kekencangan baut sambungan <i>Rail Gantry</i>	-	√
Pemeriksaan dengan kunci set	-	-
Periksa kondisi rel	√	-
Periksa kelurusan profil rel	-	-

Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku dengan pelaksanaan *task* secara langsung. Berikut ini merupakan HTA dari salah satu operatoran pada *preventive Maintenance* Mesin 2.

Hierarchical Task Analysis Langkah Kerja *Preventive Maintenance Gantry* di mana *Preventive maintenance gantry* mempunyai 6 *task* pokok. *Task* 1 meliputi langkah awal *pengerjaan preventive maintenance gantry* yang terdiri dari 4 *sub task*,

kemudian berlanjut pada *task* 2, *task* 3, *task* 4, *task* 5, dan *task* 6 yang terdiri dari 6 *sub task*.

Sebanyak 19 *task* pelaksanaannya sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku, sedangkan sebanyak 4 *task* tidak sesuai dengan prosedur. 4 *task* tersebut adalah ketidaksesuaian dalam pemakaian APD secara lengkap, pelumasan *open gear*, pembuatan laporan kepada operator lokal serta pemeriksaan kekencangan baut.

Selain itu dilakukan pula *Hierarchical Task Analysis* Langkah Kerja *Preventive Maintenance Grab Bucket*. *Preventive maintenance grab bucket* mempunyai 6 *task* pokok. *Task* 1 meliputi langkah awal pengerjaan *preventive maintenance grab bucket* yang terdiri dari 4 *sub task*, kemudian berlanjut pada *task* 2, *task* 3, *task* 4, *task* 5, dan *task* 6 yang terdiri dari 4 *sub task*. Sebanyak 14 *task* pelaksanaannya sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku, sedangkan sebanyak 1 *task* tidak sesuai dengan prosedur. 1 *task* tersebut adalah ketidaksesuaian dalam pemakaian APD secara lengkap. *Hierarchical Task Analysis* dilakukan pada langkah kerja *Preventive Maintenance Wire Rope* serta *Preventive Maintenance Belt Conveyor* 1 dan 2.

Preventive maintenance wire rope mempunyai 6 *task* pokok. *Task* 1 meliputi langkah awal pengerjaan *preventive maintenance wire rope* yang terdiri dari 4 *sub task*, kemudian berlanjut pada *task* 2, *task* 3, *task* 4, *task* 5, dan *task* 6 yang terdiri dari 3 *sub task*. Sebanyak 14 *task* pelaksanaannya sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku, sedangkan sebanyak 3 *task* tidak sesuai dengan prosedur. 3 *task* tersebut adalah ketidaksesuaian dalam pemakaian APD secara lengkap serta 2 *sub task* saat pemeriksaan kawat yang putus.

Preventive maintenance belt conveyor 1 mempunyai 6 *task* pokok. *Task* 1 meliputi langkah awal pengerjaan *preventive maintenance belt conveyor* 1 yang terdiri dari 4 *sub task*, kemudian berlanjut pada *task* 2, *task* 3, *task* 4, *task* 5, dan *task* 6 yang terdiri dari 3 *sub task*. Sebanyak 28 *task* pelaksanaannya sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku, sedangkan sebanyak 4 *task* tidak sesuai dengan prosedur. 4 *task* tersebut adalah ketidaksesuaian dalam pemakaian APD secara lengkap, pemeriksaan pergerakan *belt*, pemeriksaan temperatur *bearing* serta pembersihan area *pulley*.

Preventive maintenance belt conveyor 2 mempunyai 6 *task* pokok. *Task* 1 meliputi langkah awal pengerjaan *preventive maintenance belt conveyor* 2 yang terdiri dari 4 *sub task*, kemudian berlanjut pada *task* 2, *task* 3, *task* 4, *task* 5, dan *task* 6 yang terdiri dari 3 *sub task*. *Task preventive maintenance belt conveyor* 2 secara keseluruhan sama dengan *task preventive maintenance belt conveyor* 1, hanya saja pada *belt conveyor* 2 lingkup kerjanya lebih luas. Sebanyak 28 *task* pelaksanaannya sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku, sedangkan sebanyak 4 *task* tidak sesuai dengan prosedur. 4 *task* tersebut adalah ketidaksesuaian dalam pemakaian APD secara

lengkap, pemeriksaan pergerakan *belt*, pemeriksaan temperatur *bearing* serta pembersihan area *pulley*.

Identifikasi *Possible Error* pada 5 Operatoran *Preventive Maintenance Mesin* 2

Penelitian ini melakukan identifikasi *error* langkah kerja operator *preventive maintenance gantry*. Pada *preventive maintenance gantry* terdapat 4 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat memeriksa *gear box level oil*, pelumasan *open gear*, pemeriksaan *hydraulic system rail clamp*, pemeriksaan kondisi roda *gantry* serta pemeriksaan kekencangan baut sambungan pada *rail gantry*. Terdapat 7 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance gantry* serta akibat yang dapat terjadi.

Selanjutnya dilakukan identifikasi *error* langkah kerja operator *preventive maintenance grab bucket*. Pada *preventive maintenance grab bucket* terdapat 4 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pemeriksaan *grease sheave block*, pemeriksaan keretakan pengelasan, pemeriksaan *visual pin bushing* serta pemeriksaan kondisi *leading sheave*. Terdapat 4 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance grab bucket* serta akibat yang dapat terjadi.

Kemudian disusun identifikasi *error* langkah kerja operator *preventive maintenance wire rope*. Pada *preventive maintenance wire rope* terdapat 3 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pelumasan *wire rope*, pemeriksaan keausan dan kelainan *wire rope*, serta pemeriksaan kawat yang putus. Terdapat 3 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance wire rope* serta akibat yang dapat terjadi.

Identifikasi juga dilakukan untuk mengetahui *error* langkah kerja operator *preventive maintenance belt conveyor* 1. Pada *preventive maintenance belt conveyor* 1 terdapat 3 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pemeriksaan *belt conveyor*, pemeriksaan *idler*, serta pemeriksaan *pulley*. Terdapat 10 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance belt conveyor* 1 serta akibat yang dapat terjadi.

Identifikasi selanjutnya dilakukan untuk mengetahui *error* langkah kerja operator *preventive maintenance belt conveyor*

Pada *preventive maintenance belt conveyor* 2 terdapat 3 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pemeriksaan *belt conveyor*, pemeriksaan *idler*, serta pemeriksaan *pulley*. Terdapat 10 *possible error* dari langkah kerja *preventive*

maintenance belt conveyor 2 serta akibat yang dapat terjadi.

Analisis Hasil Pengukuran Keandalan Manusia Pada 5 Operator Preventive Maintenance Mesin 2 Dengan Metode HEART

Perhitungan *Human Error Probability* dengan menggunakan metode HEART maka dilakukan beberapa langkah sebagai berikut (Parastuti, 2009):
Langkah yang dilakukan antara lain adalah:
(a) Mengklasifikasikan jenis tugas/pekerjaan;
(b) Menentukan nilai ketidakandalan dari tugas/pekerjaan tersebut. Nilai HEP (ketidakandalan) untuk tiap tugas (GTTs) di mana *Nominal Human Unreability* merupakan nilai tetapan yang sudah divalidasikan oleh Jeremy Williams (1986);
(c) Mengidentifikasi kondisi yang menimbulkan kesalahan (EPCs); EPC diharuskan terpisah dari apa yang tercakup dalam GTTs dan seharusnya memiliki sifat yang nyata dan dapat dipertanggungjawabkan oleh analis. EPCs dapat dilihat dari tabel 1 bersamaan dengan total faktor efek (*Total Effect*

Factor) dari tiap EPCs. Faktor ini menandakan perkiraan jumlah nilai maksimum di mana ketidakandalan dapat berubah dari kondisi baik ke buruk. Nilai EPCs merupakan nilai tetapan yang sudah divalidasi oleh Jeremy Williams (1986);
(d) Menentukan asumsi proporsi kesalahan (*Assessed Proportion of Affect/APOA*). Untuk tiap EPC yang telah teridentifikasi pada langkah 3, ahli yang diyakini cukup berpengalaman dalam bidang memberikan suatu penilaian pada keseluruhan ketidakandalan yang mempengaruhi tugas, dengan range penilaian antara 0 sampai dengan 1. Nilai *Assessed Proportion of Affect* terdapat pada tabel 2. Nilai APOA merupakan nilai tetapan yang sudah divalidasi oleh Jeremy Williams (1986);
(e) Menentukan *Assessed Effect* di mana *Assessed Effect* merupakan perkalian antara *total effect* dan proporsi kesalahan masing-masing EPC;
(f) Menentukan HEP (*Human Error Probability*);
(g) Menghitung Probabilitas Kegagalan dan Keandalan;
(h) Menghitung nilai *Human Reliability* total.

Tabel 2 *Generic Task Types* (GTTs)

Kategori <i>Task</i>	<i>Nominal Human Unreability</i>	<i>Range</i>
Tidak terbiasa sama sekali,dijalankan cepat dengan tidak mengetahui akibat yang mungkin terjadi.	0,55	(0,35–0,97)
Mengganti atau memulihkan sistem ke bentuk yang baru atau asli dengan usaha sendiri tanpa pengawasan atau prosedur.	0,26	(0,14–0,42)
Operatoran/tugas kompleks yang membutuhkan tingginya tingkat pemahaman dan ketrampilan.	0,16	(0,12–0,28)
Operatoran sederhana yang jelas dilakukan dengan cepat atau dengan memberikan sedikit perhatian.	0,09	(0,06–0,13)
Rutin, sangat praktis, operatoran cepat dengan melibatkan ketrampilan yang relatif rendah.	0,02	(0,007–0,045)
Memulihkan atau mengganti suatu sistem ke bentuk awal atau, dengan mengikuti prosedur dengan beberapa pemeriksaan	0,003	(0,008–0,007)
Sudah sangat terbiasa, telah dirancang dengan baik, sangat praktis, operatoran rutin yang terjadi beberapa kali dalam tiap jamnya, dilakukan untuk kemungkinan standar yag tinggi.	0,0004	(0,00008–0,009)
Merespon dengan benar terhadap sistem arahan yang sama di mana ada penambahan atau sistem pengawasan otomatis yang menyediakan interpretasi yang akurat dalam tahapan sistem.	0,00002	(0,000006–0,00009)
Tidak ada keadaan seperti di atas.	0,03	(0,008–0,11)

Keterangan: Williams,1986

Tabel 3. *Error Producing Conditions (EPCs)*

Kondisi yang menyebabkan <i>error</i> (EPCs)	Total Effect
Tidak biasa dengan situasi di mana hal itu secara potensial penting, tetapi hanya terjadi sesekali atau baru terjadi.	17
Kurangnya waktu yang tersedia untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan.	11
Rendahnya rasio antara penerimaan informasi (<i>signal</i>) terhadap gangguan (<i>noise</i>) sekitar.	10
Tidak adanya penekanan/penolakan terhadap informasi atau keunggulan yang mana terlalu mudah untuk diterima.	9
Tidak adanya alat-alat yang menyampaikan secara fungsional kepada operator.	8
Ketidaksesuaian antara suatu model operator pada umumnya dengan apa yang dibayangkan perancang.	8
Tidak adanya alat untuk membalikkan tindakan yang tidak diinginkan.	8
Kapasitas yang berlebih dalam saluran, khususnya salah satunya diakibatkan oleh informasi yang datang secara bersamaan.	6
Perlunya untuk meninggalkan suatu teknik dan menerapkan teknik lain dengan menggunakan filosofi yang berlawanan.	6
Kebutuhan untuk mentransfer pengetahuan yang spesifik antar tugas tanpa menimbulkan kerugian.	5,5
Keraguan pada standar performansi yang diharuskan	5
Ketidaksesuaian antara risiko yang dibayangkan dengan risiko yang sesungguhnya.	4
Sistem umpan balik buruk, rancu dan tidak sesuai.	4
Tidak sebanding antara persepsi dengan risiko nyata.	4
Tidak jelasnya konfirmasi dan tindakan yang diharapkan secara langsung	4
Operator tidak berpengalaman	3
Miskinnya kualitas dalam informasi yang disampaikan oleh prosedur dan interaksi antar manusia	3
Sedikit atau tidak adanya kebebasan dalam pemeriksaan atau pengujian pada <i>output</i> .	3
Konflik antara cepat/ <i>immediate</i> dan lamanya tujuan yang dicapai	2,5
Tidak ada perbedaan informasi masukan untuk pengecekan yang teliti.	2,5
Ketidaksesuaian antara tingkat pencapaian pendidikan dari individu dengan persyaratan yang harus dilakukan dalam tugas.	2
Dorongan untuk menggunakan prosedur lain yang lebih berbahaya.	2
Kecilnya kesempatan untuk melatih pikiran dan tubuh di luar batas	1,8
Peralatan instrumen yang tidak handal/tidak baik	1,6
Kebutuhan terhadap penilaian yang pasti, yang mana berada di luar kemampuan atau pengalaman operator.	1,6
Tidak jelasnya alokasi fungsi dan tanggung jawab.	1,6
Tidak ada langkah yang nyata untuk tetap berada pada jalur kemajuan selama beraktivitas.	1,4
Bahaya yang disebabkan terbatasnya kemampuan fisik.	1,4
Kecil atau tidak adanya peran yang berarti dalam tugas.	1,4
Besarnya tingkat emosional	1,3
Moral kerja yang rendah	1,2
Ketidaksesuaian antara <i>display</i> dan prosedur.	1,2
Tidak ada kondisi seperti di atas	1

Keterangan: Findiastuti, 2002

Tabel 4. Kriteria Menentukan Asumsi Proporsi Kesalahan (*Assessed Proportion of ffect/APOA*)

Assessed Proportion	Keterangan
0	EPC tidak berpengaruh terhadap HEP
0,1	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC sering (frekuensi > 5 kali setiap shift) terjadi dan disertai minimal 3 EPC yang lain
0,2	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC sering (frekuensi > 5 kali setiap shift) terjadi dan disertai minimal 2 EPC yang lain
0,3	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC sering (frekuensi > 5 kali setiap shift) terjadi dan disertai minimal 1 EPC yang lain
0,4	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC sering (frekuensi > 5 kali setiap shift) terjadi tanpa disertai EPC yang lain
0,5	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC jarang (frekuensi= 2–5 kali setiap shift) terjadi dan disertai minimal 2 EPC yang lain
0,6	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC jarang (frekuensi= 2–5 kali setiap shift) terjadi dan disertai minimal 1 EPC yang lain
0,7	Dapat berpengaruh terhadap HEP jika EPC jarang (frekuensi= 2–5 kali setiap shift) terjadi tanpa disertai EPC yang lain
0,8	Dapat langsung berpengaruh terhadap HEP jika EPC satu kali terjadi dan disertai dengan minimal 2 EPC
0,9	Dapat langsung berpengaruh terhadap HEP jika EPC satu kali terjadi dan disertai dengan minimal 1 EPC
1	Dapat langsung berpengaruh terhadap HEP jika EPC satu kali terjadi tanpa disertai dengan EPC yang lain

Keterangan: Williams,1986

Tabel 5. Perhitungan F,R dan Rm pada Operator *Gantry* di *Preventive Maintenance* Mesin 2 PT. PJB Unit Pembangkitan Paiton

Task	Possible Error	HEP	$F_i = 1 - \prod_j (1-HEP_{ij})$	$R_i = 1-F_i$
Periksa <i>Gear Box</i> Level Oil. Periksa level oil dan pastikan level oli minimum 50% dan maksimum 75%.	Memeriksa level oli di ketinggian	0,2306	0,2306	0,7694
Periksa kondisi oli. Pemeriksaan secara visual apabila warna mulai keruh (cokelat/hitam) maka oli harus diganti	Memeriksa kondisi oli di ketinggian	0,0677	0,0677	0,9323
Pelumasan <i>Open Gear</i> . Berikan <i>greas</i> pada gear.	Jari atau tangan me-nyentuh <i>gear</i>	0,2801	0,2801	0,7199
Identifikasi putaran,suara dan keausan	Jari atau tangan menyentuh roda pada saat proses <i>bearing</i>	0,1372	0,1372	0,8628
Lakukan pemeriksaan secara visual dan periksa adanya kerusakan	Jari atau tangan menyentuh roda saat memeriksa keausan	0,0998	0,0998	0,9002
Periksa kondisi roda gantry	Jari atau tangan menyen-tuh roda	0,1291	0,1291	0,8709
Periksa kekencangan baut sambungan <i>Rail Gantry</i>	Badan berada di rel pada saat mengen- cangkan sambungan rail gantry	0,1382	0,1382	0,8618
Total Keandalan Sistem ($R_m = \prod_i R_i$)				0,301026

Contoh Perhitungan:

Tabel 6. HEP Memeriksa level oli di ketinggian (Gantry)

HEP Memeriksa level oli di ketinggian (Gantry)			
Generic Task	E. Rutin, sangat praktis, operatoran cepat dengan melibatkan ketrampilan yang relatif rendah		
Deskripsi aksi operator	Periksa Gear Box Level Oil. Periksa level oil dan pastikan level oli minimum 50% dan maksimum 75%.		
Nominal Human Unreability	0,02		
Error Producing Conditions	Total HEART effect	Assessed Proportion	Assessed Effect [pi(fi-1) + 1]
Ketidaksesuaian antara risiko yang dibayangkan dengan risiko yang sesungguhnya.	4	0,4	2,2
Konflik antara cepat/immediate dan lamanya tujuan yang dicapai.	2,5	0,2	1,3
Miskinnya kualitas dalam informasi yang disampaikan oleh prosedur dan interaksi antar manusia.	3	0,2	1,4
Operator tidak berpengalaman	3	0,4	1,8
Tidak ada perbedaan informasi masukan untuk pengecekan yang teliti.	2,5	0,4	1,6
Human Error Probability		0,2306	
$[r \times \prod p (fi-1) + 1]$			

Nilai *nominal human unreability* sebesar 0,02 (kategori *generic task* E) didapatkan dari Tabel *Generic Task Types* (nilai *nominal human unreability* dapat berbeda-beda). Sedangkan *error producing conditions* didapat dari Tabel 3 serta *assessed proportion* didapat dari Tabel 4. Sehingga perhitungan *assessed effect* menjadi:

EPCs poin ke-12
 $[pi(fi-1) + 1] = [0,4 (4-1) + 1 = 2,2$
EPCs poin ke-19
 $[pi(fi-1) + 1] = [0,2 (2,5-1) + 1 = 1,3$
EPCs poin ke-17
 $[pi(fi-1) + 1] = [0,2 (3-1) + 1 = 1,4$
EPCs poin ke-16
 $[pi(fi-1) + 1] = [0,4 (3-1) + 1 = 1,8$
EPCs poin ke-20
 $[pi(fi-1) + 1] = [0,4 (2,5-1) + 1 = 1,6$

Sehingga *Human Error Probability* menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{HEP} &= [r \times \prod_i \dot{p} (fi-1) + 1] \\
 &= 0,02 \times 2,2 \times 1,3 \times 1,4 \times 1,8 \times 1,6 \\
 &= 0,230
 \end{aligned}$$

Nilai HEP merupakan nilai *probability of failure* (F) sehingga nilai keandalan menjadi:

$$R_i = 1-F_i = 1-0,2306 = 0,7694$$

Perhitungan di atas berlaku untuk *task-task* berikutnya yang mempunyai *possible error*.

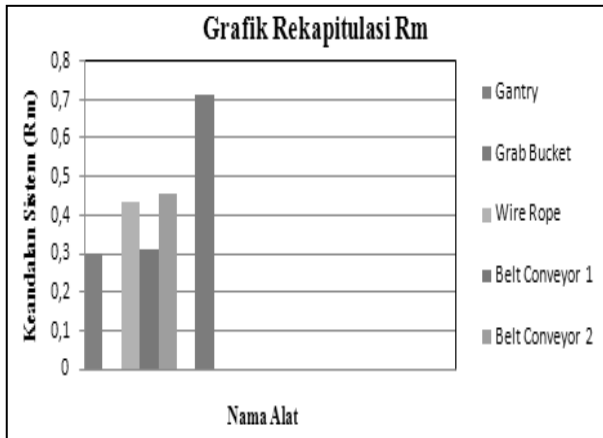
Sehingga nilai keandalan sistem adalah hasil perkalian dari masing-masing nilai keandalan.

$$\begin{aligned}
 R_m = \prod_i R_i &= 0,7694 \times 0,9323 \times 0,7199 \\
 &\times 0,8628 \times 0,9002 \times 0,8709 \\
 &\times 0,8618 \\
 &= 0,301026
 \end{aligned}$$

Perhitungan dengan metode HEART tersebut juga berlaku untuk operatoran peralatan yang lain.

Dari hasil pengolahan data diketahui bahwa ada 1 alat yang keandalan operator dalam melaksanakan *work instruction* termasuk dalam kategori tinggi ($R_m \geq 0,5$) yaitu pada *Grab Bucket* sebesar 0,713716.

Sedangkan keandalan operator untuk melaksanakan *work instruction* termasuk dalam kategori rendah ($R_m \leq 0,5$) ada 4 alat yaitu *gantry*, *wire rope*, *belt conveyor 1* dan *belt conveyor 2*. Alat yang memiliki keandalan sistem (R_m) paling rendah adalah *gantry*, yaitu sebesar 0,301026.



Gambar 1. Grafik rekapitulasi keandalan sistem (Rm)

PEMBAHASAN

Hierarchical Task Analysis pada 5 Operatoran Preventive Maintenance Mesin 2 Beserta Penilaian Expert Judgement

Menurut Kirwan dan Ainsworth (1992), seorang ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja dapat menggunakan *task analysis* sebagai dasar untuk mengevaluasi desain, rencana operasional, identifikasi masalah, penambahan peralatan baru atau sebagai bagian dari tinjauan periodik.

Dari HTA yang sudah dibuat diperoleh hasil bahwa *task* yang *dimbreakdown* secara urut akan memudahkan operator untuk menjalankan pekerjaannya, sehingga ketika terjadi penyimpangan dapat sesegera mungkin dapat dideteksi. HTA memaparkan sejumlah urutan kerja secara detail disertai dengan kemungkinan *error* yang akan terjadi. Hal ini berbeda dengan *work instruction* yang dimiliki oleh *preventive maintenance* mesin 2. Pernyataan tersebut juga dipaparkan oleh Embrey (1984) bahwa HTA dapat digunakan sebagai titik awal untuk menggunakan berbagai metode analisis kesalahan untuk memeriksa potensi kesalahan dalam kinerja operasi yang dibutuhkan.

Berdasarkan hasil penelitian, kelima *task* yaitu *preventive maintenance gantry*, *grab bucket*, *wire rope*, *belt conveyor 1* dan *belt conveyor 2* terdapat penyimpangan *task* yang dilakukan oleh operator, yaitu tentang penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang tidak lengkap, ketidaktepatan dalam pembuatan laporan kepada operator lokal, ketidaksesuaian dalam pelumasan, serta pembersihan area. Penyimpangan-penyimpangan yang terjadi dalam *task* dapat memicu terjadinya *human error* sehingga hal tersebut harus

ditangani secara tepat. Penanganan dapat berupa pelatihan, perbaikan komunikasi, minimalisasi *stress* dan sebagainya.

Pada akhirnya, pemecahan *task* dalam HTA kemudian dapat digunakan sebagai pengembangan desain proses kerja serta dasar pelatihan dan perbaikan standar operasional (Kirwan dan Ainsworth, 1992).

Identifikasi *Possible Error* pada 5 Operatoran Preventive Maintenance Mesin 2

Menurut David (2003) *error* bukanlah suatu kejadian abnormal, melainkan sesuatu yang normal terjadi atas keberadaan manusia dalam sebuah sistem kerja. Hal tersebut berbanding lurus dengan pentingnya identifikasi *possible error* sebagai upaya preventif untuk meminimalisasi dampak *human error*.

Pada *preventive maintenance gantry* terdapat 4 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat memeriksa *gear box* level oil, pelumasan *open gear*, pemeriksaan *hydraulic system rail clamp*, pemeriksaan kondisi roda *gantry* serta pemeriksaan kekencangan baut sambungan pada *rail gantry*. Terdapat 7 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance gantry* serta akibat yang dapat terjadi. 7 *possible error* tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan *human error probability* (HEP).

Pada *preventive maintenance grab bucket* terdapat 4 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pemeriksaan *grease sheave block*, pemeriksaan keretakan pengelasan, pemeriksaan *visual pin bushing* serta pemeriksaan kondisi *leading sheave*. Terdapat 4 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance grab bucket* serta akibat yang dapat terjadi. 4 *possible error* tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan *human error probability* (HEP).

Pada *preventive maintenance wire rope* terdapat 3 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pelumasan *wire rope*, pemeriksaan keausan dan kelainan *wire rope*, serta pemeriksaan kawat yang putus. Terdapat 3 *possible error* dari langkah kerja *preventive maintenance wire rope* serta akibat yang dapat terjadi. 3 *possible error* tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan *human error probability* (HEP).

Pada *preventive maintenance belt conveyor* 1 terdapat 3 *task* yang mempunyai potensi *error*, yaitu pada saat pemeriksaan *belt conveyor*, pemeriksaan *idler*, serta pemeriksaan *pulley*. Terdapat

10 possible error dari langkah kerja *preventive maintenance belt conveyor* 1 serta akibat yang dapat terjadi. 10 possible error tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan *human error probability* (HEP).

Pada *preventive maintenance belt conveyor* 2 terdapat 3 task yang mempunyai potensi error, yaitu pada saat pemeriksaan *belt conveyor*; pemeriksaan *idler*; serta pemeriksaan *pulley*. Terdapat 10 possible error dari langkah kerja *preventive maintenance belt conveyor* 2 serta akibat yang dapat terjadi. 10 possible error tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan *human error probability* (HEP).

Menurut Dewi (2002) operator merupakan element yang memiliki kontribusi besar dalam operasi sebuah sistem sehingga cukup penting untuk dilakukan pengukuran terhadap keandalannya dalam melaksanakan aktivitas yang menjadi tanggung jawabnya.

Error diidentifikasi merupakan *human error* jenis *operating error* yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja. *Human error* jenis *operating error* dipilih karena terfokus pada kesalahan yang berkaitan dengan personil operasi dan salah satu penyebabnya dipengaruhi oleh *work instruction* yang tersedia.

Analisis Hasil Pengukuran Keandalan Manusia Pada 5 Operator Preventive Maintenance Mesin 2 Dengan Metode HEART

Pengukuran keandalan manusia dengan metode HEART merupakan metode yang sangat praktis di mana kategori *task* terwakilkan oleh nilai ketidakandalan *nominal human unreability* serta kondisi-kondisi yang menyebabkan *error* (Reason, 1997).

Analisis hasil pengukuran keandalan manusia pada operator *gantry* menunjukkan hasil di mana Nilai HEP menggambarkan risiko kecelakaan kerja pada suatu pekerjaan. Dari beberapa *task* pada operatoran *gantry*, risiko kecelakaan terbesar dengan menggunakan metode HEART adalah “jari atau tangan menyentuh *gear*” (HEP sebesar 0,2801) yaitu pada aktivitas “Pelumasan *Open Gear*. Berikan *greas* pada *gear*. ” Semakin besar nilai ini maka semakin kecil nilai *human reliability* dari operator. Sedangkan nilai HEP terendah adalah “memeriksa kondisi oli di ketinggian” (HEP sebesar 0,0677) yaitu pada aktivitas “Periksa kondisi oli. Pemeriksaan secara visual apabila warna mulai keruh (cokelat/hitam) maka oli harus diganti”. Nilai 0,0677 merupakan nilai yang kecil sehingga memungkinkan nilai *human reliability* nya semakin besar.

Analisis hasil pengukuran keandalan manusia pada operator *grab bucket* di mana nilai hep menggambarkan risiko kecelakaan kerja pada suatu pekerjaan. Dari beberapa *task* pada operatoran *grab bucket*, risiko kecelakaan terbesar dengan menggunakan metode HEART adalah “jari atau tangan menyentuh *pin bushing* saat memeriksa pin” (HEP sebesar 0,0903) yaitu pada aktivitas “Periksa *visual pin bushing*. Periksa tingkat keausan”. Semakin besar nilai ini maka semakin kecil nilai *human reliability* dari operator. Sedangkan nilai HEP terendah adalah “Badan berada di dalam *grab* pada saat memeriksa keretakan” (HEP sebesar 0,0591) yaitu pada aktivitas “Periksa keretakan pengelasan”. Nilai 0,0591 merupakan nilai yang kecil sehingga memungkinkan nilai *human reliability* nya semakin besar.

Analisis hasil pengukuran keandalan manusia pada operator *wire rope* menjelaskan bahwa Nilai HEP menggambarkan risiko kecelakaan kerja pada suatu pekerjaan. Dari beberapa *task* pada operatoran *wire rope*, risiko kecelakaan terbesar dengan menggunakan metode HEART adalah “memeriksa kondisi pelumasan *Wire Rope* di ketinggian” (HEP sebesar 0,4276) yaitu pada aktivitas “Periksa kondisi pelumasan *wire rope*, apabila kering lakukan penambahan *grease*”. Semakin besar nilai ini maka semakin kecil nilai *human reliability* dari operator. Sedangkan nilai HEP terendah adalah “Memeriksa *Wire rope* berada di ketinggian” (HEP sebesar 0,0077) yaitu pada aktivitas “Periksa kawat yang putus”. Nilai 0,0077 merupakan nilai yang kecil sehingga memungkinkan nilai *human reliability* nya semakin besar.

Penelitian menganalisis hasil pengukuran keandalan manusia pada operator *belt conveyor* 1 di mana nilai hep menggambarkan risiko kecelakaan kerja pada suatu pekerjaan. Dari beberapa *task* pada operatoran *belt conveyor* 1, risiko kecelakaan terbesar dengan menggunakan metode HEART adalah “Bagian tubuh masuk ke area belt pada saat membersihkan *pulley*” (HEP sebesar 0,3188) yaitu pada aktivitas “*Cleaning* area *pulley*, periksa debu batubara”. Semakin besar nilai ini maka semakin kecil nilai *human reliability* dari operator. Sedangkan nilai HEP terendah adalah “Memeriksa adanya *Noise* pada *conveyor* yang berada di ketinggian dan mempunyai desain kemiringan” (HEP sebesar 0,0470) yaitu pada aktivitas “Periksa adanya *noise* (kebisingan), apabila terdapat kerusakan *bearing* maka suara akan berderit”. Nilai 0,0470 merupakan nilai yang kecil sehingga memungkinkan nilai *human reliability* nya semakin besar.

Nilai HEP menggambarkan risiko kecelakaan kerja pada suatu pekerjaan. Dari beberapa *task* pada operatoran *belt conveyor* 2, risiko kecelakaan terbesar dengan menggunakan metode HEART adalah “Bagian tubuh masuk ke area belt pada saat memeriksa *rubber lagging*” (HEP sebesar 0,2313) yaitu pada aktivitas “Periksa kondisi *rubber lagging*. Periksa keausan, sobekan dan pengelupasan”. Semakin besar nilai ini maka semakin kecil nilai *human reliability* dari operator. Sedangkan nilai HEP terendah adalah “Tangan menyentuh belt saat memeriksa sambungan” (HEP sebesar 0,0177) yaitu pada aktivitas “Periksa kondisi sambungan. Periksa ada/tidaknya pengelupasan”. Nilai 0,0177 merupakan nilai yang kecil sehingga memungkinkan nilai *human reliability* nya semakin besar.

Jika membandingkan nilai HEP yang diperoleh, besar kecilnya HEP melalui pengukuran dengan menggunakan metode HEART sangat ditentukan oleh pemilihan *generic task* yang menentukan karakteristik umum dari setiap pekerjaan.

Perhitungan keandalan sistem berfungsi untuk melihat nilai keandalan secara keseluruhan dari sebuah operatoran. Hasil perhitungan yang diperoleh digunakan untuk menilai sejauh mana performansi keandalan manusia dalam sistem kerja dan evaluasi perbaikan apa yang dapat dilakukan berdasarkan probabilitas gagal masing-masing aktivitas (Kirwan, 1994).

Berdasarkan perhitungan keandalan sistem terdapat 4 peralatan yang keandalan operator untuk melaksanakan *work instruction*-nya termasuk dalam kategori rendah ($R_m < 0,5$) yaitu *gantry* ($R_m = 0,0301026$), *wire rope* ($R_m = 0,434571$), *belt conveyor* 1 ($R_m = 0,312865$) dan *belt conveyor* 2 ($R_m = 0,453760$). Keandalan operator yang rendah disebabkan oleh banyaknya faktor yang berpengaruh, seperti moral kerja yang rendah, disiplin kerja yang rendah, kurangnya pengetahuan tentang risiko yang mungkin terjadi pada saat operatoran dan sebab-sebab lainnya yang muncul dari dalam ataupun luar operator. Sedangkan keandalan operator untuk melaksanakan *work instruction* dalam kategori tinggi ($R_m > 0,5$) yaitu pada *grab bucket* ($R_m = 0,713716$). Keandalan operator yang tinggi merupakan wujud dari kepatuhan operator dalam melaksanakan tugas yang diberikan. Selain cukupnya pengetahuan, operator memiliki moral kerja yang tinggi sehingga *error* yang mungkin terjadi dapat dihindari ataupun diminimalisir sedini mungkin.

KESIMPULAN

Sebagian besar operatoran dari 5 peralatan pada *maintenance* mesin 2 mempunyai penyimpangan berupa ketidaksesuaian dalam pemakaian APD. Identifikasi *possible error* paling banyak ditemukan pada *preventive maintenance belt conveyor* 1 dan *belt conveyor* 2 yaitu sebanyak 10 *possible error*. *Human Error Probability* tertinggi ditemukan pada operatoran *wire rope* yang pelaksanaan *work instruction* masih rendah. Dari 5 peralatan yang diteliti, terdapat 4 peralatan yang keandalan operator untuk melaksanakan *work instruction*-nya termasuk dalam kategori rendah yaitu *gantry*, *wire rope*, *belt conveyor* 1 dan *belt conveyor* 2.

DAFTAR PUSTAKA

- David, D. Woods. 2003. *Behind Human Error: Taming Complexity to Improve Patient Safety*. Institute for Ergonomics: The Ohio State University.
- Dewi, Luciana Triani. 2002. *Penilaian Keandalan Operator Perakitan Manual Pesawat Telepon Tipe PTE-991-N1 Produksi PT. Inti (PERSERO) Dengan Metode Human Error And Criticality Analysis (HECA)*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Embrey, D.E. 1984. *Application of Human Reliability Assessment to Process Plant Design. Ergonomic Problem in Process Operation*. Rugby: Instan Chem. Engrs.
- Findiastuti, W. 2002. *Analisa Human Error Pada Kecelakaan Kereta Api (Studi Kasus Persilangan No. 25 Jemur Andayani Surabaya)*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- ILO. 2010. *Standar Internasional Migrasi Ketenagakerjaan*. Cianjur: IMR Press.
- Kirwan, B and L.K Ainsworth. 1992. *A Guide To Task Analysis*. United Kingdom: Taylor and Francis Inc.
- Kirwan, B. 1994. *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: CRC Press.
- Notoatmodjo, S. 2005. *Metodelogi Penelitian Kesehatan*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Parastuti, I. 2009. *As Human Error yang Berpengaruh pada Cacnalisiat Produk dengan Pendekatan Human Reliability Assestment (HRA) (Studi Kasus: PT Energi Multitech Indonesia)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Pulat, B. M. 1992. *Fundamental of Industrial Ergonomics*. Englewood Cliffs N. J: Prentice Hall Inc.

- Reason, J. 1997. *Managing The Risk of Organizational Accidents*. England: Ashgate Publishing Co.
- Suma'mur. 2009. *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: CV. Sagung Seto.
- Williams, J.C. 1986. HEART- A *Proposed Method for Assessing and Reducing Human Error*. In: 9th Advance in Reliability Technology Symposium (ARTS). Bradford: University of Bradford.