ANALISA INTERAKSI MANUSIA MESIN UNTUK IDENTIFIKASI KESALAHAN PROSES DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAFEI DAN FMEA PADA STUDI KASUS PROSES *SAND CASTING MIXING*

Eduardus Dimas Arya Sadewa^{1*}, Wahyudi¹

¹Politeknik Manufaktur Astra, Departemen Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Jakarta Indonesia

*eduardus.dimas@polman.astra.ac.id

Abstrak

Interaksi antara manusia dan mesin merupakan aktifitas yang umum dalam dunia industri. Identifikasi kesalahan banyak dilakukan dengan pendekatan hanya pada manusia. Faktor mesin juga dapat berpengaruh terhadap kemungkinan kesalahan yang dilakukan manusia. Penelitian dilakukan dalam studi kasus pengadukan pasir pada pembuatan pasir cetak di proses casting. Integrasi dari beberapa metode identifikasi kesalahan dapat meningkatkan akurasi prediksi kesalahan dan objektifitas dari penilaian. Metode TAFEI digunakan untuk analisa interaksi antara manusia dengan mesin mixer pasir.. Hasil yang didapat dari analisa TAFEI berupa adanya potensi bahaya akibat prosedur yang tidak baik dianalisa lebih lanjut dengan menggunakan FMEA untuk mendapat rekomendasi perbaikan. Dari hasil analisa TAFEI dan penilaian dari FMEA. posisi dari pintu depan memiliki faktor bahaya terhadap urutan kerja dari penguna *mixer* pasir. Rekomendasi yang diberikan berupa perbaikan design pintu mixer pasir.

Kata kunci: TAFEI, FMEA, man- machine interaction, casting process, redesign

Pendahuluan

Analisa kesalahan dari suatu proses tidak terlepas dari faktor manusia sebagai salah satu faktor penyebabnya. Banyak analis menggunakan metode human identification (HEI) untuk memprediksi kesalahan yang terjadi dalam suatu proses. Faktor mesin dan lingkungan juga merupakan faktor penting yang harus dilihat saat melihat suatu proses. Kedua faktor tersebut dapat berpengaruh terhadap kondisi dan cara pekerja mengambil tindakan dalam bekerja. Sebagai contoh studi awal pada industri tambang batubara dalam bidang man-machine-environment engineering dilakukan dengan analisa pada sistem dan hubungan ketiganya untuk membuat sistem lebih aman [1]. Dengan menggunakan metode yang tepat untuk menilai interaksi antara manusia dengan mesin guna memprediksi aktifitas yang memungkinkan menyebabkan kesalahan diintegrasikan dengan dan metode penilaian yang lain agar lebih objektif dalam memberikan rekomendasi perbaikan.

Prosedur penelitian. Dalam setiap proses yang melibatkan faktor manusia kemungkinan pasti ada terjadinya kesalahan. Dalam kutipan tulisan dari Leva (2006), The Major Accident Reporting mengindikasikan System kesalahan manusia bertanggung jawab terhadap 90% kecelakaan sehingga keiadian manusia sangat penting dalam aplikasi keselamatan industri dan tindakan pencegahan kecelakaan [2]. Dengan menggunakan pendekatan yang sistematis lewat penelusuran kegiatan pekerjaan yang dilakukan pelaksana kerja dan teknologi dari peralatan yang digunakan, kita dapat mengindikasikan jenis *error* yang mungkin muncul [3]. Pendekatan sistematis yang ada secara umum menggunakan tahapan:

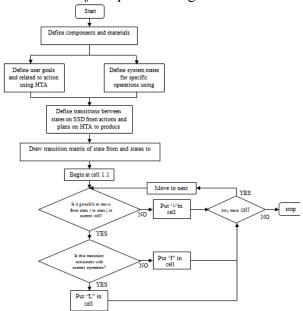
- 1. Mendefinisikan masalah
- 2. Analisa faktor yang terkait dengan *human error*
- 3. Analisa kegiatan pekerjaan (*task analysis*)
- 4. Analisa faktor kesalahan manusia (human error)

Metodologi penelitian.

- 5. Identifikasi konsekuensi kesalahan terhadap sistem
- 6. Strategi mengurangi kesalahan
- 7. Evaluasi dari hasil perbaikan.

Pengunaan human error template (HET) dengan pendekatan multi metode dan analis memberikan hasil vang lebih dibandingkan dengan menggunakan satu metode Human Error Identification (HEI). Penggunaan multi metode terintegrasi, analis yang ahli dalam bidang domain yang diteliti dan analis yang ahli dalam penggunaan HEI akan lebih memberikan akurasi prediksi dari kesalahan [4].

Dari pembahasan ini, analisa interaksi antara manusia dengan mesin dilakukan dengan menggembangkan metode *Task Analysis for Error Identification* (TAFEI). Langkah penggunaan metode TAFEI dapat dilihat dalam *flow process* di gambar 1.



Gambar 1. Prosedur penggunaan metode TAFEI

TAFEI terdiri dari 3 komponen utama; Hierarchical Task Analysis (HTA) yang menghasilkan diskripsi dari kegiatan operator, State-Space Diagram (SSD) yang mendiskripsikan aktifitas mesin dan Transition Matrix (TM) menunjukkan mekanisme yang menetukan potensi

aktifitas yang dapat menimbulkan kesalahan dalam interaksi manusia mesin.

Aktifitas yang berpotensi menimbulkan kesalahan dalam *Transition Matrix* ditunjukkan dalam notasi *Ilegal* (I). Notasi *illegal* dalam TM ini akan diberikan *expert judgement* oleh para analis HEI dan analis dari domain yang diteliti. Hal ini tentu dapat dipengaruhi oleh subyektifitas dari analis sehingga perlu ada tool yang membantu objektifitas penilaian [3].

Tool yang umum untuk antisipasi kesalahan dan analisa resiko adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA dapat digunakan untuk identifikasi kemungkinan kesalahan pada awal design atau pengembangan awal dari proses atau produk [5]. Tabel 1 menunjukkan tabel kerja dari FMEA.

Table 1. Lembar kerja dan penjelasan FMEA

Function or process step	Failure type	Potential impact	S	EV		ential uses	occ	Detection mode		D	ET	RPN
Briefly	Describe	What is the	Hov	v	Wha	t	How	What are	the	Ho	w	Risk
outline	what has	impact on the	seve	re is	caus	es the	frequent	existing		eas	y is	Priority
function,	gone	key output	output the		t key input		ly is this	controls that		it to	Number	
step or	wrong	variables or	to th	ıe	to go		likely to	either		det	ect?	
item		internal	cust	omer	wron	1g?	occur?	prevent th				
being		requirements						failure fro				
analyzed								occurring detect it	or			
								should it				
								occur?				
Recomme	nded actions	Responsi	bility	Tar	get	Act	ion taken	SEV	OC	C	DET	RPN
				da	te							
What are	the actions f	or Who	is	What	is	What	were th	е				
reducing th	e occurrence	of responsible	for	the :	target	actions	;					
the cause o	the cause or improving the		date		for	for implemented?						
detection?		recommend	led	the			recalculat	- 1				
		action		recom		l	PN to see i					
				ded ct	ion		action ha	S				
						reduce	d the risk					

FMEA dimulai dengan analisa fungsi produk atau proses dari kegiatan, mulai dari diskripsi jenis kesalahan yang dapat muncul, akibat yang ditimbulkan, faktor penyebab dan bagaimana deteksi dari kesalahan tadi. Masing - masing diukur dari tingkat severity, occurrence dan detection. Penilaian dari ketiganya menggunakan skala angka misalkan dari 1 sampai 10 dengan penilaian dapat dilihat pada tabel 2. Dari hasil penilaian kemudian dihitung nilai RPN (Risk Priority Number). Nilai RPN merupakan masalah potensial, perlu ada penilaian lain seperti standard safety,

tuntutan *safety equipment* dan peraturan yang dapat menjadi faktor untuk rekomendasi perbaikan proses atau produk.

Table 2. Deskripsi dari *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*.

	Description	Low number	High number
Severity	Severity ranking encompasses what is important to industry, company or customers (e.g. safety standards, environment, legal, production continuity, scrap, loss of business, damage reputation)	Low impact	High impact
Occurrence	Rank the probability of a failure occurring during the expected lifetime of the product or service	Not likely to occur	inevitable
Detection	Rank the probability of the problem being detected and acted upon before it has happened	Very likely to be detected	Not likely to be detected

Nilai RPN dihitung dengan menggunakan formula

RPN

= severity x occurrence x detection

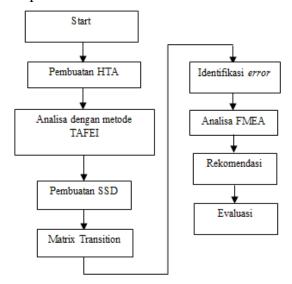
Rekomendasi diberikan kepada proses atau produk dengan disertai *person in charge* (PIC) yang bertanggung jawab, target waktu, hal yang dilakukan. Pengukuran tingkat *severity*, *occurrence* dan *detection* dilakukan setelah perbaikan untuk melihat pengurangan dari faktor resiko yang mungkin muncul [6].

Case study proses pengadukan pasir cetakan. Pengecoran logam merupakan salah satu proses pembentukan produk yang cukup tua dengan cara material ferrous atau non-ferrous dilelehkan sampai temperatur leleh dan dituang ke dalam cetakan. Gambar 2 menunjukkan proses dari sand casting. Proses yang dilalui secara umum adalah proses persiapan pasir cetak, persiapan cetakan, pembuatan cetakan, pelelehan material tuang, proses penuangan, pembongkaran cetakan dan produk. Proses finishing pembuatan cetakan dan penuangan merupakan proses yang memiliki interaksi antara manusia dengan mesin.



Gambar 2. Urutan proses pembuatan produk cetak tuang pasir

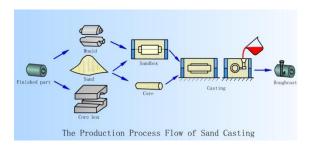
Dalam penulisan ini akan dilakukan analisa kondisi dalam proses pengadukan pasir untuk cetakan casting dengan menggunakan TAFEI dan dibantu dengan FMEA untuk membantu penilaian lebih objektif dalam memberikan rekomendasi. Gambar 3 adalah *flow process* metodologi pada penelitian ini



Gambar 3. Flow process metodologi analisa identifikasi error

Analisa masalah

Analisa proses. Persiapan pasir cetak dilakukan dengan mengukur kadar air dan keaktifan dari *bentonite* untuk menentukan prosentase komposisi dari campuran pasir cetakan. Setelah mengetahui komposisi dari bahan kemudian dilakukan penimbangan dan setelah itu dilakukan pengadukan. Setelah pengadukan pasir siap digunakan untuk pembuatan cetakan seperti ditujukkan pada gambar 4.



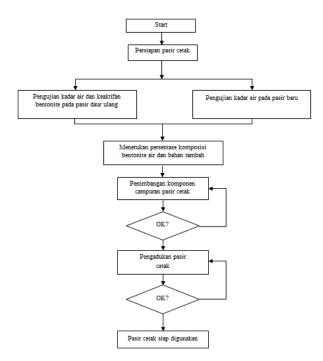
Gambar 4. Alur proses produksi *sand* casting.

Proses pengadukan pasir menggunakan mixer dengan kapasitas 40 kg sekali pengadukan. Proses pengadukan terutama pada penggunaan pasir daur ulang berfungsi untuk menghancurkan bongkahan pasir dari proses pengecoran sebelumnya agar menjadi lebih halus dengan menggilas menggunakan roda mixer yang memiliki flap besi di depannya untuk meratakan pasir hasil gilingan. Proses pencampuran antara pasir, bentonite dan air dilakukan untuk mendapatkan pasir dapat dipadatkan. Gambar menunjukkan urutan proses pengoperasian mesin *mixer* pasir.

Aktifitas untuk pembuatan pasir dengan menggunakan *mixer*;

- Proses penimbangan komponen pasir cetak.
- Pengadukan dengan menggunakan *mixer*; menutup pintu, *release emergency stop* dan pencet tombol *on* mesin.
- Pengadukan komponen campuran di *mixer*: menuangkan pasir ke *mixer*, menuangkan *bentonite* ke pasir di *mixer* dan menuangkan secara merata air ke dalam campuran pasir dan bentonite dalam *mixer*.
- Pasir cetak siap dari mixer; menyiapkan box tampungan pasir, buka pintu mixer, tunggu pasir keluar dengan bantuan putaran mixer. Setelah proses selesai matikan mixer dengan menekan tombol emergency stop.

Ilustrasi proses pengoperasian *mixer* pasir dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Flow process pengadukan pasir cetak.

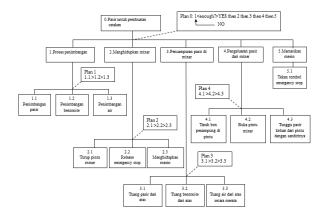


Gambar 6. Gambaran proses pemgoperasian mesin mixer pasir

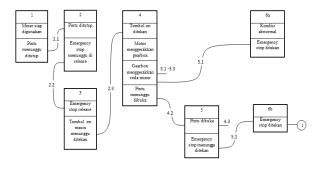
Task Analysis for Error Identification (TAFEI). Dari urutan proses dan Standard Operation Procedure proses pengadukan pasir dibuat Hierarchical Task Analysis (HTA) untuk mengetahui aktifitas operator saat proses pengadukan pasir. HTA dari proses pembuatan pasir cetak dapat dilihat pada gambar 7.

State-Space Diagram (SSD) dibuat untuk mengetahui aliran aktifitas pada mesin dan interaksinya dengan task analysis dari operator. Urutan proses di SSD dimulai dari mixer siap digunakan, menutup pintu, release emergency stop, pencet tombol on untuk menghidupkan mesin, proses pengadukan mesin dimulai,

saat sudah selesai pintu dibuka untuk pengeluaran pasir, mesin dimatikan dengan menekan *emergency stop*. Gambar 8 menunjukkan SSD penggunaan *mixer* pengaduk pasir cetak.



Gambar 7. Hierarchical Task Analysis pembuatan pasir cetak untuk casting.



Gambar 8. *State-Space Diagram* penggunaan mesin *mixer* pada pembuatan pasir cetak untuk *casting*.

Dengan menggunakan SSD dan HTA dilakukan proses identifikasi error dengan menggunakan tabel matrix transisi. Matrix transisi berisi aktifitas interaksi dari operator saat mengoperasikan mesin, dengan tiga transisi berupa legal transition, illegal transition, dan impossible transition. Matrix transisi dari proses pengadukan mesin dapat dilihat pada tabel 3.

Dari hasil analisa matrix transisi, dibuat identifikasi *error* pada urutan proses TAFEI. Pada tabel 4 dapat dilihat jenis dan penjelasan error yang dapat menyebabkan kondisi bahaya. Salah satu hal yang menjadi perhatian adalah adanya aktifitas

dari sebuah prosedur yang tidak baik seperti contohnya transisi dari kondisi pintu terbuka dan mesin masih menyala untuk proses pengeluaran pasir. Perlu ada penilaian yang lebih objektif untuk menentukan proses yang harus diperbaiki untuk mengurangi kondisi bahaya dari proses pengadukan pasir.

Tabel 3. Matrix transisi TAFEI

	Sta	testo						
States from		1	2	3	4	5	6a	6b
	1	1	L	I	-	-	-	-
	2	-	-	L	-	-	-	-
	3	I	I	-	L	I	-	-
	4	-	-	-	-	I	L	L
	5	-	L	-	-	-	L	L
	6a	-	L	L	-	L	-	-
	6b	L	-	I	-	-	-	-

Table 4. Identifikasi *error* dari TAFEI

No	Transisi	<u>Identifikasi</u> error
1	1 - 3	(Mistiming of action) kondisi hazard, bila ada benda atau
		tangan yang masuk saat pintu tidak ditutup emergency stop
		release dan tombol on tertekan.
2	3 - 1	(Mistiming of action) kondisi hazard, bila ada benda atau
		tangan yang masuk saat pintu tidak ditutup, emergency stop
		release dan tombol on tertekan.
3	3 - 2	(Mistiming of action) kondisi hazard, bila ada benda atau
		tangan yang masuk saat pintu akan ditutup, emergency stop
		release dan tombol on tertekan.
4	3 - 5	(Misapplication of bad procedure) berbahaya membiarkan
		emergency stop release dan pintu terbuka.
5	4 - 5	(Misapplication of bad procedure) kondisi hazard saat
		mengeluarkan pasir dengan kondisi pintu terbuka dan mesin
		menyala.
6	6b - 3	(Mistiming of action) kondisi hazard bila emergency stop
		dalam kondisi <i>release</i> dan tombol on tertekan.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dapat membantu analis untuk menganalisa dan mengkelompokan masalah, melakukan kemudian brainstorming untuk memberikan penilaian yang lebih objektif untuk rekomendasi perbaikannya. Tabel 5 menunjukkan pengkelompokan dari error vang teridentifikas dari TAFEI. Ada dua kondisi utama yang akan dinilai dengan menggunakan **FMEA** vaitu kondisi emergency stop sebagai pengaman mesin dan prosedur pengeluaran pasir setelah proses pengadukan. Dari hasil analisa didapatkan prosedur pengeluaran pasir merupakan proses dengan nilai RPN yang tinggi.

Table 5. FMEA proses pengadukan pasir di *mixer sand casting*.

Function or process step	Failure type	Potential impact	SEV	Potential causes	occ	Detection mode	DET	RPN
Emergency stop dalam kondisi release pada saat akan menyalakan miter dan pintu dalam kondisi terbuka	Saat tombol on mesin tertekan, motor akan langsung menyala menggerakkan roda mixer	Cedera pada tangan Kerusakan pada alat	5	Kondisi bahaya bagi operator saat membersihkan area dalam mixer, tangan atau alat bisa pembersih bisa terjepit flap dan toda mixer	3	Check posisi emergency stop sebelum membersihkan mixer	3	45
Mixer masih menyala pada saat mengeluarkan pasir hasil adukan	Aplikasi prosedur yang tidak baik	Cedera pada tangan. Kerusakan pada alat	7	Kondisi bahaya saat pasir sudah menutup pintu dan harus didorong, beresiko untuk terjepit flap dan roda mixer	7	Memasikan tidak mendorong pasit yang keluar dengan tangan atau alat bantu apapun	5	245

Proses pengeluaran pasir pada mixer dinilai sebagai prosedur yang tidak baik karena memiliki potensi kecelakaan. Kondisi bahaya dapat dilihat dari ilustrasi gambar 9. Dilihat dari pengamatan, kondisi berpotensi mengakibatkan cedera tangan dan kerusakan pada peralatan. Berdasarkan pada peraturan menteri tenaga kerja Republik Indonesia No: PER.04/MEN/1985 tentang Pesawat Tenaga Dan Produksi, Pasal 27 dan Pasal 96 tentang keamanan peralatan produksi dan mesin rol [7], dibuat rekomendasi untuk perbaikan prosedur pengeluaran pasir untuk proses pembuatan cetakan.



Ada celah antara flap dengan bibir pintu. Flap yang ikut berputar pada saat pengeluaran pasir dapat menyebabkan tangan atau ala banti terjepit antara ujung flap dengan bibir pintu

Gambar 9. Kondisi bahaya pada saat pengeluaran pasir

Rekomendasi dapat dilihat pada tabel 6 dengan tujuan mesin dapat tetap bekerja saat pintu dibuka degan melakukan desian ulang pada pintu *mixer*.

Table 6. Rekomendasi awal dari FMEA proses pengadukan pasir di *mixer sand casting*.

Recommended actions	Responsibility	Action taken
Melakukan design ulang	Petugas 5K2S,	Merubah metode
dari pintu mixer untuk	maintenance	pengeluaran pasir
mencegah ada tangan atau		namun tetap harus
alat masuk di pintu pada		menggunakan putaran
saat mesin berputar dan		mesin untuk
pintu harus terbuka		pengeluaran pasir.
Memindahkan posisi	Petugas 5K2S,	Memindahkan
emergency stop <u>dekat</u>	maintenance	emergency stop dekat
dengan pintu		dengan pintu, dibuat
membuat prosedur banı		SOP baru untuk
		prosedur
		pengunaannya

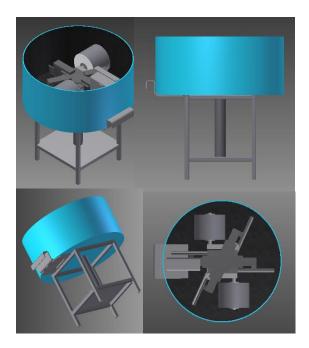
Untuk membuat desian baru dari pintu ada permintaan desain yang dibutuhkan sebagai acuan untuk perubahan. Tabel 7 menunjukkan permintaan desain untuk perubahan pintu *mixer* pasir. Dari hasil tabel didapatkan beberapa hal yang harus diperhatikan, mesin harus tetap berjalan pada saat pasir dikeluarkan, karena *flap* membantu untuk proses pengeluaran pasir, pasir mudah untuk keluar, sehingga tidak menimbulkan aktifitas pengambilan pasir di pintu dengan menggunakan tangan atau alat. Mudah untuk membuka dan menutup pintu.

Table 7. Design requirement untuk perubahan pintu mixer pasir.

No	Design requirement
1	Pintu mudah dibuka dan ditutup
2	Pasir mudah untuk dikeluarkan
3	Mesin harus tetap berjalan saat pengeluaran pasir
4	Emergency stop berada di area yang mudah dijangkau

Gambar 10 menunjukkan rencana perubahan desain mesin *mixer*. Perubahan yang dilakukan dengan merubah cara membuka pintu dari bukaan samping menjadi membuka dengan cara ditarik. Dengan pintu tarik diharapkan proses

pengeluaran pasir dapat berlangsung dalam kondisi *mixer* tetap berputar sehingga pasir dapat langsung turun. Dengan perubahan ini diharapkan tidak ada lagi pasir yang menumpuk di pintu sehingga tidak ada kecenderungan untuk pengambilan pasir dengan menggunakan tangan atau alat bantu.



Gambar 10. Rencana perubahan desain pintu mixer pasir.

Dari hasil usulan desain pintu *mixer* yang baru dilakukan evaluasi untuk menilai rekomendasi dari hasil perbaikan. Tabel 8. Menunjukkan hasil dari perbaikan. Nilai RPN dari proses perbaikan dari awalnya 245 menjadi 8. Perubahan ini akan membantu operator terutama operator baru untuk melakukan proses dengan aman.

Tabel 8. Evaluasi rekomendasi hasil perbaikan

Recommended actions	Responsibility	Target	Action taken	SEV	occ	DET	RPN
		date					
Melakukan design ulang	Petugas 5K2S,	11Juli	Merubah metode	2	2	2	8
dari pintu mixer untuk	maintenance	2015	pengeluaran pasir				
mencegah a da tangan atau			namun tetapharus				
alat masuk di pintu pada			menggunakan putaran				
saat mesin berputar dan			mesin untuk				
pintu harus terbuka			pengeluaran pasir				
Memindahkan posisi	Petugas 5K2S,	11 Juli	Memindahkan	5	3	2	30
emergency stop dekat	maintenance	2015	emergency stop dekat				
dengan pintu			dengan pintu, dibuat				
 membuat prosedur baru 			SOP baruuntuk				
			prosedur pengunaannya				

Kesimpulan

Dari hasil analisa HTA, dilanjutkan dengan analisa TAFEI didapatkan faktor interaksi operator dengan mesin *mixer* yang berpotensi bahaya adalah adanya aktifitas yang dilakukan karena prosedur yang tidak aman. Dengan menggunakan FMEA, maka dilakukan analisa untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan proses. Penilaian dari proses yang berpotensi terhadap bahaya adalah pada saat mesin berputar, pintu dibuka sehingga berpotensi terjadi kecelakaan karena operator cenderung untuk mengeluarkan pasir dengan bantuan tangan atau alat bantu sehingga dapat terjepit oleh mesin dengan nilai RPN 245. diberikan Rekomendasi yang adalah dengan dengan redesign pintu untuk menghindari tangan atau alat masuk pada saat proses pengeluaran pasir disesuaikan dengan design requirement. Hasil evaluasi dari rekomendasi di analisa FMEA, nilai RPN mengalami penurunan dari 245 menjasi 8.

Referensi

[1] Song Xiaoyan, Xie Zhongpeng, Application on man-machine-environment system engineering in coal mines safety management, International Symposium on Safety Science and Technology, 2014, pp. 87 - 92.

[2] Ching-Min Cheng and Sheue-Ling Hwang, Applications of integrated human error identification techniques on the chemical cylinder change task, Applied Ergonomics 47, 2015, pp. 274-284.

[3] Neville Stanton and Chris Baber, A Systems Approach to Human Error Identification, Safety Science. Vol. 22, No. 1-3, 1996, pp. 215-228 [3] Neville A. Stanton and Christopher Baber, Error by design: methods for predicting device usability. Design Studies 23 (4), 2002, pp. 363–384.

[4] Neville A. Stanton, Paul Salmon, Don Harris, Andrew Marshall, Jason Demagalski, Mark S. Young, Thomas Waldmann, Sidney Dekker, Predicting pilot error: Testing a new methodology and a multi-methods and analysts approach, Applied Ergonomics 40, 2009, pp. 464– 471.

[5] Christian M. Thurnes, Frank Zeihsel, Svetlana Visnepolschi, Frank Hallfell, Using TRIZ to invent failures – concept and application to go beyond traditional FMEA. Procedia Engineering 131, 2015, pp. 426 – 450.

[6] Quick Guide to Failure Mode and Effects

Analysis.

https://www.isixsigma.com/toolstemplates/fmea/quick-guide-failure-modeand-effects-analysis/ (20/5/2016).

[7] Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia No: Per.04/Men/1985 Tentang Pesawat Tenaga Dan Produksi