

## **PENILAIAN RISIKO PEKERJAAN PENGOPERASIAN DAN MAINTENANCE ROBOT DI PT X JAKARTA**

Hendri Amirudin Anwar

Fakultas Ilmu-ilmu Kesehatan, Prodi. Kesmas, Universitas Esa Unggul

Jalan Arjuna Utara No. 9 Tol Tomang Jakarta Barat 11510

[anwar.hendri@gmail.com](mailto:anwar.hendri@gmail.com)

### ***Abstract***

*Robot is a complex and complicated machine with the ability to move at different speeds and in different directions. The interaction between human, robot and environment contribute to create risk endangering people and property which is located around the robot. Based on information from the official website of the US labor department from 1984 to 2013. There have been 37 fatal accidents in the workplace related to robots. This thesis discusses the risk assessment carried out on the operation and maintenance work of the robot at PT X. Identification of danger in this study using a job hazard analysis (JSA / JHA) and the calculation of the risk value using semi-quantitative analysis method. The results of this study provide an overview of risk level operation and maintenance work of the robot, where the highest risk is hit by a robot arm while doing the work operation and maintenance robot. The risk level is obtained from the combination of the probability of occurrence and severity of impact. These research give some recommendation to control residual risks.*

**Keywords:** *robot, bahaya, risiko, probability, severity*

### **Abstrak**

Robot merupakan sebuah mesin yang kompleks dan rumit dengan kemampuan untuk bergerak dengan berbagai kecepatan dan berbagai arah. Interaksi antara orang, robot dan lingkungan berkontribusi menciptakan resiko yang membahayakan manusia maupun properti yang berada di sekitar robot. Berdasarkan informasi dari situs resmi departemen tenaga kerja Amerika Serikat sejak tahun 1984 hingga tahun 2013 telah terjadi 37 kecelakaan fatal di tempat kerja terkait robot. Tesis ini membahas penilaian risiko yang dilakukan pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X. Identifikasi bahaya pada penelitian ini menggunakan metode analisa bahaya pekerjaan (JSA/JHA) dan penghitungan nilai risikonya dengan menggunakan metode analisa risiko semi kuantitatif. Hasil penelitian ini memberikan gambaran tingkat risiko pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot, dimana risiko tertinggi adalah tertabrak lengan robot baik saat pekerjaan pengoperasian maupun *maintenance* robot. Tingkat risiko tersebut didapat dari kombinasi kemungkinan kejadian (probability) dan keparahan dampak (severity). Selain itu dihasilkan rekomendasi untuk mengendalikan sisa risiko yang ada.

**Kata kunci:** *robot, bahaya, risiko, probability, severity*

## **Pendahuluan**

Pada awal tahun 2015 dipasanglah robot pertama di PT X Jakarta yang berfungsi untuk mengangkat kaca. Robot ini merupakan proyek pertama dan rencananya akan dibuat robot serupa di pabrik Sidoarjo. Robot ini juga akan dijadikan sebagai proyek massal di pabrik baru yang saat ini sedang dibangun di Cikampek yang akan selesai dibangun pada tahun 2018. Perubahan proses dari menggunakan tenaga manusia ke tenaga robot di PT X akan memunculkan risiko baru yang dapat membahayakan manusia maupun properti yang berada di sekitar robot. Robot dapat melakukan suatu gerakan yang kuat dan cepat yang dapat membahayakan orang maupun properti yang ada di sekitarnya. Risiko muncul ketika terjadi kontak antara robot dengan orang atau properti yang ada di sekitarnya. Berdasarkan informasi dari situs resmi departemen tenaga kerja Amerika Serikat sejak tahun 1984 hingga tahun 2013 telah terjadi 37 kecelakaan fatal di tempat kerja yang disebabkan oleh robot. (US, 2013). Kecelakaan fatal terakhir terkait robot terjadi pada bulan juni 2015 dimana seorang pekerja di pabrik volkswagen di Jerman meninggal akibat terperangkap di sebuah robot industri hingga badannya hancur diremukkan oleh robot tersebut.

Robot ini merupakan robot pertama di PT X Jakarta sehingga ada kemungkinan terdapat kekurangan dalam proses penilaian risiko pada tahap desain. Berdasarkan temuan audit K3 yang dilakukan oleh kantor pusat Jepang di PT X Jakarta pada tahun 2015 masih terdapat potensi risiko yang belum dikendalikan terkait pekerjaan pengoperasian robot, yaitu auditor dapat masuk ke dalam area pergerakan robot melalui celah yang ada di bawah pagar pembatas di sekeliling robot. Selain itu penilaian risiko yang dilakukan sama sekali belum mencakup pekerjaan *maintenance* di area robot

sehingga perlu dilakukan penilaian risiko pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot sebagai evaluasi terhadap sistem keselamatan robot yang ada saat ini untuk memastikan bahwa robot ini benar-benar aman untuk digunakan sebelum dijadikan proyek massal di pabrik baru di Cikampek. Di dalam Guideline OSHA disebutkan bahwa setiap robot harus didesain, dibuat, ataupun dibuat kembali dengan desain yang aman. (OSHA, 1999). Selain itu di dalam penjelasan PP 50 tahun 2012 pasal 9 ayat 3 huruf b juga disebutkan bahwa Identifikasi bahaya, penilaian dan pengendalian risiko dilakukan terhadap mesin - mesin, pesawat-pesawat, alat kerja, peralatan lainnya. Sehingga sebelum robot ini dijadikan proyek massal di pabrik baru, terlebih dahulu perlu dilakukan penilaian risiko sistem eksisting robot sebagai evaluasi terhadap sistem keselamatan yang ada untuk memastikan bahwa robot benar-benar aman untuk digunakan.

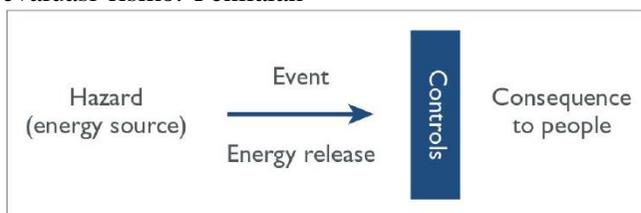
Definisi bahaya dijelaskan di standar ISO sebagai sumber dari hal-hal yang dapat merugikan (ISO 12100 2010). Tes mendasar untuk mengetahui apakah sesuatu itu merupakan bahaya atau bukan adalah apabila sesuatu itu dihilangkan maka risikonya pun juga ikut hilang (Safety Institute of Australia Ltd 2012). Risiko dapat juga diartikan sebagai kombinasi dari konsekuensi dan peluang terjadinya suatu kejadian (AS/NZS 4360:2004 2004).

Penilaian risiko merupakan bagian dari proses manajemen risiko. Tahapan proses manajemen risiko menurut AS/NZS 4360:2004 diawali dengan menetapkan konteks terkait faktor internal dan eksternal dari objek yang akan dinilai risikonya, Selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap bahaya dan risiko yang ada terkait pekerjaan yang akan dilakukan. Pada tahap analisa risiko dilakukan analisa terhadap risiko yang ada, penyebab atau sumber risiko, maupun

dampak yang diakibatkan oleh risiko tersebut. Selanjutnya dilakukan evaluasi risiko untuk menilai seberapa pentingnya risiko dengan cara membandingkan seberapa besar tingkat risiko yang ada dengan matriks risiko yang sudah dibuat sebelumnya dan langkah selanjutnya adalah tahap penanggulangan risiko. Pada semua tahapan manajemen risiko dilakukan proses komunikasi, konsultasi, pengawasan dan peninjauan.

Tahap penilaian risiko merupakan bagian dari keseluruhan proses manajemen risiko. Tahap penilaian risiko terdiri dari tahap identifikasi risiko, tahap analisa risiko dan tahap evaluasi risiko. Penilaian

risiko pada dasarnya berdasarkan pada 2 faktor utama, yaitu faktor *severity* dan faktor *probability*. Dengan melakukan penilaian risiko kita dapat mengetahui bahaya apa saja yang ada pada suatu proses atau peralatan dan seberapa besar tingkat risikonya. Selain itu dengan melakukan penilaian risiko kita juga dapat mengetahui apakah suatu proses atau peralatan sudah aman (kontrol memadai) atau masih berisiko tinggi sehingga memerlukan tindakan pengamanan tambahan. Seperti yang digambarkan oleh model komponen risiko Haddon pada gambar 1 (Haddon, 1973)



Gambar 1  
Model Komponen Risiko Haddon (1973)

Metode identifikasi bahaya dan risiko yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Job Safety Analysis (JSA). JSA adalah metode identifikasi bahaya dan risiko yang sederhana yang diterapkan untuk meninjau ulang prosedur pekerjaan dan prakteknya dalam rangka mengidentifikasi potensi bahaya dan menetapkan tindakan pengendalian risiko (Rausand, 2011). Setelah proses identifikasi bahaya dilakukan dilanjutkan dengan proses analisa terhadap risiko yang ada, penyebab atau sumber risiko, maupun dampak yang diakibatkan oleh risiko tersebut. Analisa risiko pada dasarnya berdasarkan pada 2 faktor utama, yaitu faktor *severity* dan faktor *probability* seperti yang digambarkan oleh gambar 2. Menurut AS/NZS 4360:2004 analisa risiko dapat dilakukan secara kualitatif,

semikuantitatif, kuantitatif atau kombinasi dari beberapa metode.

Faktor *severity* (tingkat keparahan) luka tergantung dari jenis bahaya dan intensitas bahaya. Beberapa jenis bahaya yang umumnya terdapat pada suatu mesin adalah bahaya listrik, mekanik dan bahaya kimia. Berikut ini pembahasan intensitas ketiga jenis bahaya tersebut;

a. Intensitas bahaya listrik

Gaya gerak listrik, atau potensial listrik diukur dalam volt, potensial listrik ini yang menyebabkan arus mengalir. Arus, tegangan dan resistansi terhubung melalui **hukum Ohm** sebagai berikut:

$$V \text{ (tegangan dalam volt) } = I \text{ (arus dalam ampere) } \times R \text{ (hambatan ohm)}$$

Tingkat keparahan luka tergantung pada kekuatan arus yang mengalir melalui tubuh dan waktu kontak.

Hambatan dari kulit manusia bervariasi antara individu dan lingkungan atau keadaan mereka di bawah kondisi kering, hambatan tubuh mungkin sebesar 100,000 Ω.; jika basah, resistensi dapat berkurang ke 1000Ω (Body, Hazards, et al. 2012). Efek dari berbagai kekuatan saat ini pada tubuh manusia ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1

Intensitas Bahaya Listrik AC

Arus Listrik	Keparahan Luka
1mA	Ambang batas sensasi kejut
16mA	Awal dari kontraksi otot (ambang batas untuk tidak dapat lepas dari arus)
20mA	Kontraksi / Kelumpuhan otot pernapasan
100mA	Batas Fibrilasi Venticular
2A	Kerusakan organ dalam dan <i>cardiac standstill</i>

Sumber : (Body, Hazards, et al. 2012)

b. Intensitas bahaya mekanik

Intensitas bahaya mekanik dinyatakan dengan satuan newton (N). Nilai ini dapat diketahui dari spesifikasi teknis robot atau jika tidak terdapat spesifikasi teknis robot maka dapat dihitung menggunakan rumus newton sebagai berikut (Nokata & Ikuta 2007);  $F$  (gaya lengan robot (N)) =  $m$  (massa komponen robot (kg)) x  $a$  (percepatan komponen ( $m/s^2$ ))

(1).

Jika di dalam spesifikasi teknis terdapat informasi mengenai besarnya

momen (Nm) dan panjang lengan robot (meter), maka intensitas bahaya mekanik juga dapat dihitung dengan persamaan momen sebagai berikut ;

$$F = M / l \quad (3).$$

dimana;

F = gaya dari lengan robot (Newton)

M = besarnya momen dari lengan robot (Nm)

l = panjang lengan robot (meter)

Intensitas mekanik juga dapat berasal dari gaya potensial yang terdapat pada lengan robot maupun komponen lain yang ada di dalam sistem pengoperasian robot. Cara menghitung besarnya gaya potensial atau yang biasa dikenal dengan gaya berat dapat menggunakan rumus sebagai berikut;

$$W = m.g \quad (4).$$

dimana;

W = gaya potensial benda atau yang biasa disebut dengan berat (Newton)

m = massa benda / komponen robot atau komponen lain (kg)

a = percepatan gravitasi ( $9.8 m/s^2$ )

Setiap anggota tubuh memiliki kemampuan yang berbeda dalam menerima gaya dari lengan robot. Pada tabel 2 menunjukkan pilihan nilai-nilai kemampuan anggota tubuh dalam menerima gaya yang diambil dari draft ISO / TS 15066 dibandingkan dengan nilai-nilai dalam draft CEN / TC 162 (2).(Glossop & Gould 2005).

Tabel 2  
Batas Intensitas Gaya Mekanik (N) berdasarkan draft CEN/TC-162 dan draft ISO / TS-15066

No	Bagian Tubuh	Level		
		CEN/TC-162 Luka berat / sedang	CEN/TC-162 Luka ringan / tidak ada luka	ISO /TS 15066 Kriteria luka
1	Tengkorak atas / dahi	600 – 11000	< 1000	175
2	Dada / rusuk	580 – 8500	< 500	210
3	Lengan atas / siku	2000 – 4000	1700	190
4	Lengan bawah	500 – 3800	500	220
5	Paha / lutut	2600 – 10000	1000 – 5000	250
6	Kaki bagian bawah	900 – 8000	< 1000	170

Sumber : (Hill 2012)

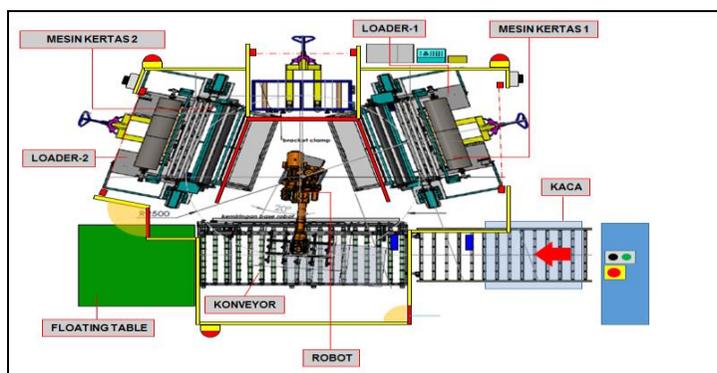
c. Intensitas bahaya kimia

Bahaya kimia terdiri dari dua jenis utama: reaktif dan beracun. Identifikasi efek racun dari bahaya kimia membutuhkan pemahaman akut dan kronis, dan efek pengganggu dari latency dalam ekspresi tanda dan gejala. (Hazards 2012)

Pada prinsipnya faktor *probability* dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu

frekuensi dan durasi akses terhadap bahaya serta kemungkinan menghindari dari bahaya.

**Komponen Robot PT X**



Gambar 2  
Sistem dan Komponen Robot PT X Sumber : (PT X, 2015)

Sistem robot yang berfungsi untuk mengangkat kaca di PT X ini terdiri dari beberapa komponen yaitu lengan robot, *auto pappering machine*, *glass positioning conveyor*, *vacuum gripper*, *loader / unloader glass pallet*.

Terdapat banyak bahaya berhubungan dengan pengoperasian robot; beberapa diantaranya energi listrik, tekanan angin, tekanan hidrolik, dan panas, energi kinetik, (DOE, 1998).

Standar dan Pedoman Keselamatan Robot Standar nasional dibentuk cukup awal dalam sejarah robot industri, dan banyak yang dibuat pada awal tahun 1980-an (DOE, 1998). Daftar standar dan pedoman yang paling sering digunakan dan diakses antara lain diterbitkan oleh ANSI / RIA, OSHA, NIOSH, dan ISO.

### **Sistem dan Metode Keselamatan Robot**

ANSI / RIA R15.06 menetapkan persyaratan khusus untuk setiap perangkat pengamanan. Mulai dari pagar dengan interlok, lampu dan tanda peringatan, matras detektor, *light curtain*, dan *buzzer*.

### **Metode Penelitian**

Penelitian ini adalah penelitian tentang penilaian risiko pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan semi kuantitatif untuk menilai tingkat risiko pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X. Pengukuran level risiko dilakukan dengan menggunakan tabel metode penilaian resiko PT X. Hal ini dilakukan sebagai peninjauan terhadap metode analisa resiko eksisting PT X sehingga dapat memberikan masukan terhadap metode penilaian resiko eksisting PT X. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi dan menganalisa risiko yang ada pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X. Dengan demikian kita dapat mengetahui apakah

proses dan peralatan (termasuk robot) terkait pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X sudah aman atau masih berisiko tinggi sehingga memerlukan tindakan pengamanan tambahan.

Analisa pekerjaan di dalam area robot dilakukan dengan metode observasi SOP, wawancara pekerja dan pengamatan langsung di lapangan terkait pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* yang dilakukan di dalam area robot. Dimana untuk jenis pekerjaannya dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu pekerjaan produksi, pekerjaan *preventive maintenance*, dan pekerjaan *maintenance*. Setiap pekerjaan yang dilakukan di dalam area robot akan dilihat frekuensi dan durasinya dan kemungkinan menghindar dari bahaya. Identifikasi bahaya pada penelitian ini menggunakan metode analisa bahaya pekerjaan (JSA/JHA).

Data tingkat keparahan (*severity*) untuk setiap pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* di dalam area robot dinilai berdasarkan tingkat keparahan luka, potensi jumlah orang yang terluka dan potensi kerusakan properti / aset perusahaan. Analisa probability dilakukan berdasarkan frekuensi dan durasi akses ke dalam area robot dan kemungkinan menghindar dari bahaya. Nilai risiko itu sendiri merupakan kombinasi antara faktor tingkat keparahan, faktor frekuensi terpapar, dan faktor kemungkinan menghindar. Kontrol risiko ditujukan untuk mencegah atau mengurangi konsekuensi dampak ataupun mengurangi kemungkinan munculnya sumber risiko maupun mekanisme terjadinya *incident*. Evaluasi penurunan risiko dilakukan untuk mengetahui risiko yang tersisa setelah dilakukan tindakan kontrol risiko dengan cara melakukan kembali proses estimasi risiko. Apakah sisa risiko sudah masuk ke dalam kategori risiko yang dapat diterima atau tidak. Jika sisa risiko sudah masuk ke

dalam kategori risiko yang dapat diterima maka dapat dinyatakan bahwa robot aman untuk dioperasikan. Namun jika sisa risiko masuk ke dalam kategori risiko yang tidak dapat diterima maka akan diajukan saran terkait tindakan pengamanan apa yang perlu dilakukan.

## Hasil dan Pembahasan

### Spesifikasi Robot

Robot yang digunakan dalam sistem operasi penyusunan kaca secara otomatis ini adalah ABB robot IRB 6640-235/2,55 dengan detail spesifikasi jumlah axis dan motor servo sebanyak 6 unit, kecepatan 2000 mm/s, kapasitas maksimum 235 kg, jangkauan maksimum 2250 mm, berat total 1405 kg, dan sumber energi berasal dari listrik dan pneumatic.

### Elektrik

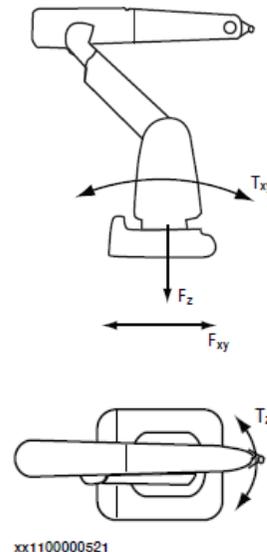
Risiko yang berhubungan dengan volt (tegangan listrik) dapat dibagi berdasarkan komponen alat, diantaranya:

- Risiko tegangan berhubungan dengan IRC5 kontrol (230 volt - 700 volt)
- Risiko tegangan berhubungan dengan manipulator ( $> 800$  V, DC)
- Risiko tegangan berhubungan dengan peralatan handling, dan peralatan lainnya yang secara umum

tegangan berada diantara 200 – 600 Volt.

### Mekanik

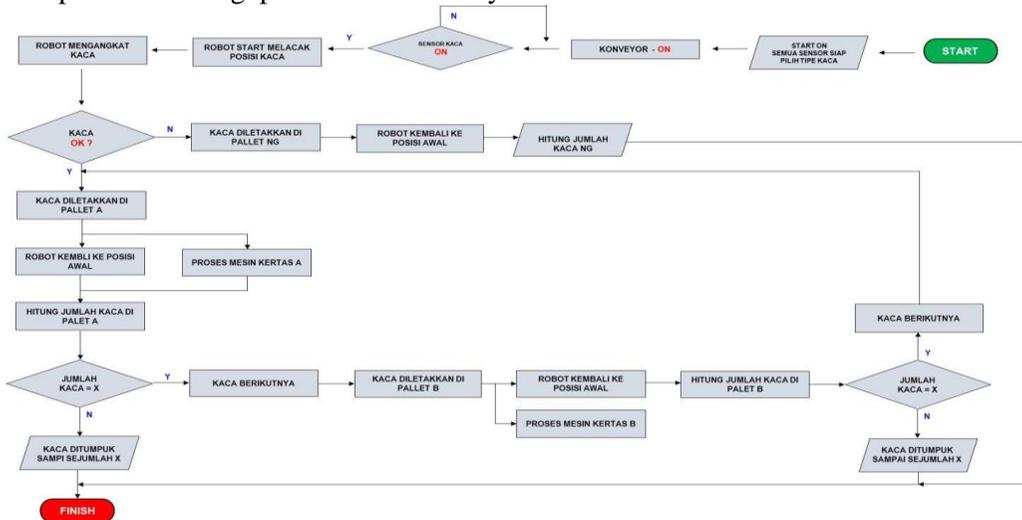
- Kecepatan robot saat beroperasi secara otomatis adalah 2000 mm/s sementara kecepatan robot saat beroperasi secara manual dapat diturunkan menjadi 250 mm/s.
- Gambar di bawah ini menggambarkan arah dari gaya dan momen dari robot.



Gambar 6  
Arah Gaya dan Momen Robot

## Hasil dan Pembahasan

### Deskripsi Sistem Pengoperasian Robot Penyusun Kaca



Tabel 3  
Daftar Nilai Gaya dan Momen Robot

Satuan	Deskripsi	Kapasitas saat beroperasi	Kapasitas maksimum
Fxy	Gaya segala arah pada bidang XY	$\pm 8.5 \text{ kN}$	$\pm 20.4 \text{ kN}$
Fz	Gaya yang ada di bidang Z	$15 \pm 9 \text{ kN}$	$15 \pm 20 \text{ kN}$
Txy	Momen gaya ke segala arah pada bidang XY	$\pm 20.1 \text{ kNm}$	$\pm 45.2 \text{ kNm}$
Tz	Momen yang ada di bidang Z	$\pm 5.1 \text{ kNm}$	$\pm 10.6 \text{ kNm}$

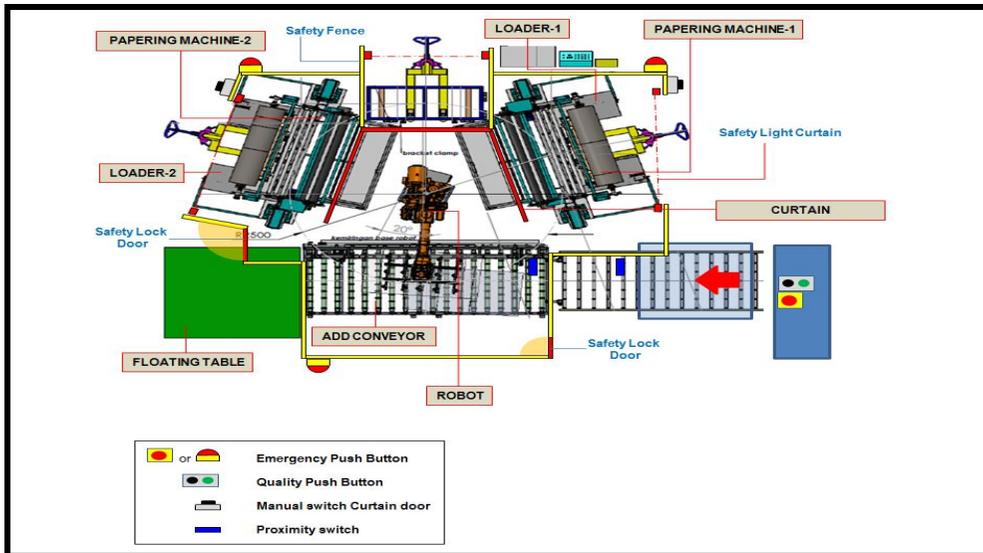
### Kimia [Toxicity]

Beberapa bahan yang ada di produk, pembuangan material dengan tepat dapat mencegah bahaya terhadap kesehatan pekerja maupun lingkungan diantaranya oli / *grease*, *neodymium* (pada rem & motor), dan NiCad / Lithium.

### Peralatan Keselamatan Robot

Proses penyusunan kaca secara otomatis oleh robot di PT X menggunakan pelindung ruang yaitu dengan cara memasang pagar di sekeliling area kerja robot untuk menghindari akses yang tidak terkontrol ke area pergerakan robot. Akses ke dalam sel robot dapat dilakukan melalui 2 pintu [*safety lock*

*door*] yang dilengkapi dengan interlock yang terletak di samping mesin kertas 2 dan di sebelah konveyor. Pada gambar 5.2 digambarkan peralatan keselamatan apa saja yang ada di sel robot beserta lokasinya. Sel robot dilengkapi dengan 8 tombol emergency stop yang tersebar di beberapa lokasi di panel kontrol PLC, panel kontrol robot, *teachpendant*, pagar mesin kertas 1 dan 2, branch, panel kontrol konveyor, dan di area inspeksi kaca. *Light curtain* dipasang di akses masuk ke mesin kertas 1, akses masuk ke mesin kertas 2, dan akses masuk ke palet NG.



Gambar 7  
Peralatan Keselamatan yang ada di Sel Robot

### Aktivitas Pekerjaan Pengoperasian dan Maintenance Robot

Secara umum pekerjaan di area robot dapat dibagi menjadi tiga pekerjaan besar, yaitu pekerjaan pengoperasian dan pekerjaan *preventive maintenance*, dan pekerjaan *maintenance*. Beberapa pekerjaan dilakukan di luar sel robot dan beberapa pekerjaan lain dilakukan di dalam sel robot.

### Pembahasan

Pembahasan Analisa Bahaya Pekerjaan Pengoperasian dan *Maintenance Robot*. Berdasarkan hasil identifikasi bahaya, terdapat beberapa bentuk bahaya yang terdapat pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot, yaitu :

#### a. Bahaya yang berbentuk gaya / energi kinetik

Energi kinetik dari pergerakan lengan robot. Perhitungan besarnya energi kinetik dari pergerakan lengan robot dinyatakan dalam satuan newton (N) dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F = M / I$$

Dimana;

F = gaya dari lengan robot (Newton)

M = besarnya momen dari lengan robot (Nm)

I = panjang lengan robot (meter)

Nilai momen dari lengan robot disebutkan dalam spesifikasi teknis robot sebesar 5,1 kNm = 5100 Nm dan untuk panjang lengan robot didapatkan dari jangkauan maksimum lengan robot yaitu sejauh 2.55 m. Sehingga berdasarkan data nilai  $F = M / L = 5100 \text{ Nm} / 2.55 \text{ m} = 2000 \text{ N}$

Bila dibandingkan dengan tabel intensitas bahaya mekanik dan diasumsikan bahwa hantaman robot mengenai bagian kepala korban maka keparahan luka yang dapat dihasilkan akibat hantaman lengan robot sebesar 2000 N dapat berakibat pada kematian.

#### b. Bahaya listrik

Beberapa komponen bahaya yang berbentuk energi listrik, antara lain:

- Breaker *main source* pada meter room

Perhitungan besarnya energi listrik dari peralatan listrik dinyatakan dalam satuan miliampere (mA) dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I = V / R$$

Dimana;

I = kuat arus listrik yang mengalir di tubuh (mA)

V = tegangan listrik dari peralatan listrik (V)

R = hambatan tubuh rata – rata manusia ( $\Omega$ )

Nilai tegangan peralatan listrik didapat dari spesifikasi teknis, besar tegangan *breaker main source* pada meter room adalah 380 volt dan untuk hambatan tubuh rata – rata manusia diasumsikan kondisi yang terburuk, yaitu ketika berada dalam kondisi basah (misalkan tangan berkeringat karena kondisi suhu ruang yang panas) sebesar 1000  $\Omega$ . Sehingga berdasarkan data tersebut dapat dihitung nilai kuat arus yang mengalir dalam tubuh dengan menggunakan rumus  $I = V / R = 380 \text{ Volt} / 1000 \Omega = 0.38 \text{ A} = 380 \text{ mA}$ .

Bila dibandingkan dengan tabel intensitas bahaya listrik maka keparahan luka yang dapat dihasilkan akibat kuat arus listrik yang mengalir dalam tubuh sebesar 380 mA dapat berakibat pada kematian.

- Panel kontrol PLC

$$I = V / R = 220 \text{ Volt} / 1000 \Omega = 0.22 \text{ A} = 220 \text{ mA}$$

- Controller Robot

$$I = V / R = 230 \text{ Volt} / 1000 \Omega = 0.23 \text{ A} = 230 \text{ mA}$$

- Kabel listrik

Kabel yang terdapat pada sistem robot memiliki tegangan yang bervariasi.

### c. Energi potensial

Beberapa komponen bahaya yang berbentuk energi potensial, antara lain :

- Palet

Energi potensial pada dasarnya dinyatakan dalam satuan joule dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E_p = m \times g \times h$$

Dimana;

$E_p$  = energi potensial (joule)

m = massa suatu alat atau komponen dalam sistem robot (kg)

g = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

h = ketinggian alat / komponen dari lantai (m)

Massa palet disebutkan dalam spesifikasi teknis palet sebesar 180 kg dan ketinggian palet diukur dari posisi lantai berada di ketinggian 1 meter dari lantai. Sehingga berdasarkan data tersebut, nilai  $E_p = m \times g \times h = 180 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 1764 \text{ joule}$ . Namun karena satuan yang digunakan pada tabel intensitas mekanik menggunakan satuan newton (N), maka nilai energi potensial dapat dinyatakan dalam satuan newton dengan menggunakan rumus berat benda

$$W = m \times g$$

Dimana;

W = Gaya berat suatu alat atau komponen dalam sistem robot (Newton)

m = massa suatu alat atau komponen dalam sistem robot (kg)

g = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Sehingga nilai berat benda =  $W = m \times g = 180 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 1764 \text{ N}$ . Bila dibandingkan dengan tabel intensitas bahaya mekanik dan diasumsikan bahwa hantaman benda atau benda jatuh mengenai bagian kaki korban maka keparahan luka yang dapat dihasilkan akibat hantaman benda sebesar 1764 N dapat berakibat patah tulang pada kaki bagian bawah

- Kaca  
Kaca terbesar yang diangkat robot berukuran 84 inch x 48 inch dengan tebal 2.5 mm dan massa sebesar 30 kg.  $W = m \times g = 30 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 294 \text{ N}$ .
- d. Bahaya bahan kimia**  
Beberapa komponen bahaya yang berbentuk bahan kimia, antara lain oli dan grease.
- e. Bahaya energi panas**  
Beberapa komponen bahaya yang berbentuk bahan kimia, antara lain:
  - Oli panas, dimana berdasarkan spesifikasi teknis robot suhu oli dalam komponen robot seperti *gearbox* dapat mencapai suhu 90°C

Robot. Berdasarkan hasil analisa risiko pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot, pekerjaan yang mempunyai risiko tinggi (sebelum dilakukan tindakan kontrol risiko) adalah pekerjaan penggantian roll kertas di mesin kertas, pekerjaan *tes run* robot, pekerjaan pengaturan robot yang berhubungan dengan panel atau peralatan listrik lain, pekerjaan penggantian palet di loader, pekerjaan mengatasi gangguan saat pengoperasian robot, seperti gangguan kaca pecah, pekerjaan *teaching* robot, pekerjaan pemeriksaan kabel, pekerjaan Pemeriksaan dan pembersihan controller, pekerjaan penggantian baterai SMB, dan pekerjaan uji coba robot setelah perbaikan. Berikut ini peta risiko berdasarkan penilaian risiko dari pekerjaan pengoperasian robot di PT X sebelum dilakukan tindakan kontrol risiko.

Pembahasan Analisa Risiko Pekerjaan Pengoperasian dan *Maintenance*

Tabel 4  
Peta Risiko Sebelum ada Tindakan Kontrol Resiko

Tingkat keparahan	Konsekuensi		Frekuensi & durasi akses			
	Orang	Aset	Selalu terjadi	Kemungkinan besar terjadi	Mungkin terjadi	Tidak mungkin terjadi
	Tingkat luka	Kerusakan properti	(A)	(B)	(C)	(D)
I	Kematian	Kerugian > 50% aset		1	23	20
II	Luka parah (RS)	Kerugian 30 - 50% aset		3	2	2
III	Luka Ringan (Klinik)	Kerugian 15 - 30% aset			2	4
IV	Luka kecil (P3K)	Kerugian < 15% aset		1		

Dari 40 risiko yang teridentifikasi pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot terdapat 29 risiko yang masuk dalam kategori risiko tinggi, yaitu :

- Tertimpa rol kertas saat mengganti roll kertas di mesin kertas (1 risiko)

- b. Terserum listrik saat melakukan pekerjaan pengaturan robot yang berhubungan dengan panel atau peralatan listrik lain. (14 risiko)
- c. Kaki terjepit roda handlift saat menarik handlift truck (1 risiko)
- d. Tertimpa palet yang roboh akibat terdorong oleh robot saat menarik kaca ke palet (4 risiko)
- e. Tertabrak robot saat seseorang masuk ke dalam sel robot saat robot beroperasi secara otomatis. (4 risiko)
- f. Tertabrak robot, saat melakukan *teaching* (1 risiko)
- g. Tertabrak robot, ketika keberadaan orang di area pergerakan robot tidak terdeteksi saat robot akan dijalankan (3 risiko)
- h. Saat robot sedang mengangkat kaca, tiba-tiba kaca terlempar

akibat terlepas dari vacum gripper (1 risiko)

Pada penelitian ini jumlah pengaman yang teridentifikasi terdiri dari pagar di sekeliling sel robot, 2 buah pintu interlock untuk masuk ke dalam sel robot, 8 tombol emergency stop yang tersebar di beberapa lokasi, light curtain yang dipasang di akses masuk ke mesin kertas 1 dan 2, serta di akses masuk ke palet NG, dan sistem grounding untuk mencegah terjadinya kebocoran arus yang dapat menyebabkan operator terkena strum dari peralatan listrik terkait sistem pengoperasian robot.

Berikut ini peta risiko berdasarkan penilaian risiko dari pekerjaan pengoperasian robot di PT X setelah dilakukan tindakan kontrol risiko

Tabel 4  
Peta Risiko Setelah ada Tindakan Kontrol Risiko

Tingkat keparahan	Konsekuensi		Frekuensi & durasi akses			
	Orang	Aset	Selalu terjadi	Kemungkinan besar terjadi	Mungkin terjadi	Tidak mungkin terjadi
	Tingkat luka	Kerusakan properti	(A)	(B)	(C)	(D)
I	Kematian	Kerugian > 50% aset			8	10
II	Luka parah (RS)	Kerugian 30 - 50% aset			1	
III	Luka Ringan (Klinik)	Kerugian 15 - 30% aset			12	20
IV	Luka kecil (P3K)	Kerugian < 15% aset		1	2	5

Berdasarkan hasil penilaian risiko, masih terdapat sembilan risiko tinggi yang masih tersisa setelah dilakukan tindakan

kontrol risiko terhadap 25 risiko tinggi yang teridentifikasi. Ketujuh risiko tinggi tersebut terdiri dari :

- a. Tertarik robot saat seseorang masuk ke dalam sel robot saat robot beroperasi secara otomatis. (4 risiko)  
Hal ini disebabkan karena masih terdapat celah pada sistem keselamatan untuk menghindari seseorang dapat masuk ke dalam sel robot saat robot sedang beroperasi, yaitu :
- a. Seseorang dapat masuk ke dalam sel robot melalui celah yang ada pada light curtain tipe rantai.



Gambar 1

Celah pada pintu interlock

- b. Seseorang dapat masuk ke dalam sel robot saat robot beroperasi melalui bawah door curtain mesin kertas. Door curtain tidak menutup rapat area pergerakan robot ketika loader ditarik keluar. Hal ini terjadi karena bagian bawah door curtain dilalui loder pada saat loader maju menuju home position



Gambar 2

Celah pada bagian bawah *door curtain*

- c. Seseorang dapat masuk ke dalam sel robot saat robot sedang beroperasi, pertama-tama ia masuk ke area mesin kertas melalui light curtain yang tidak aktif (light curtain tidak aktif ketika kaca di palet sudah penuh dan door curtain di depan palet sudah turun) selanjutnya orang tersebut merubah switch yang ada di pagar mesin kertas dari dalam area mesin kertas tanpa menyentuh light curtain sehingga door curtain yang membatasi area mesin kertas dan area sel robot terbuka dan orang tersebut dapat masuk ke dalam sel robot saat robot sedang beroperasi.



Gambar 3  
Celah pada light curtain dan door curtain

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menghindari seseorang dapat masuk ke dalam sel robot saat robot sedang beroperasi yaitu:

- a. Memendekkan rantai interlock
- b. Merubah bentuk door curtain menyesuaikan dengan bentuk palet dan loader sehingga tidak terdapat celah di bagian bawah door curtain ketika loader ditarik keluar
- c. Memindahkan posisi switch yang ada di depan mesin kertas ke tempat yang tidak terjangkau oleh orang yang ada di area mesin kertas sehingga orang tersebut tidak dapat membuka door curtain yang membatasi area mesin kertas dan area sel robot dari dalam area mesin kertas
- d. Tertabrak robot saat melakukan teaching (1 risiko)
- e. Hal ini dapat terjadi saat operator bersama rekan kerjanya melakukan teaching di dalam sel robot dengan kecepatan maksimum (2000 mm/sec). Hal ini memiliki risiko rekan kerja yang berada di dalam sel robot terhantam oleh robot ketika operator yang melakukan teaching lengah dalam memperhatikan posisi rekan kerjanya. Hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi bahaya dari hantaman robot adalah dengan mengurangi kecepatan saat teaching, dimana kondisi aktual

teaching saat ini dapat menggunakan kecepatan maksimum (2000 mm/sec) atau sama dengan kecepatan robot saat beroperasi secara otomatis dirubah menjadi 250 mm/sec sesuai dengan standar iso 10218-1 tentang persyaratan keselamatan robot industri.

- f. Tertabrak robot, ketika keberadaan orang di area pergerakan robot tidak terdeteksi saat robot akan dijalankan (3 risiko)

Hal ini dapat terjadi saat operator A masih berada di dalam area pergerakan robot sementara operator B menjalankan robot tanpa benar-benar memastikan ada operator lain yang masih berada di dalam area pergerakan robot, robot bergerak dan menghantam operator B yang saat itu sedang berada di dalam sel robot. Hal yang dapat dilakukan untuk mendeteksi keberadaan seseorang di area pergerakan robot adalah dengan memasang safety mat (matras keselamatan) yang terhubung dengan robot ketika melakukan pergerakan secara otomatis untuk mendeteksi bahwa ada seseorang yang masih berada di dalam sel robot sehingga operator lain tidak bisa menjalankan robot secara

otomatis selama masih terdapat orang di dalam sel robot.

- g. Tertimpa rol kertas saat mengganti roll kertas di mesin kertas (1 risiko)

Hal yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya kecelakaan

akibat tertimpa roll kertas adalah dengan melakukan modifikasi terhadap alat handling rol kertas agar lebih stabil dan aman saat digunakan untuk mengangkat rol kertas



Gambar 5

Animasi keberadaan orang di area pergerakan robot tidak terdeteksi saat robot akan dijalankan

## **Kesimpulan**

Pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot mempunyai beberapa bahaya dan risiko tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan pada manusia maupun kerusakan pada properti perusahaan termasuk robot itu sendiri. Bahaya yang terdapat pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot adalah bahaya yang berbentuk energi kinetik (pergerakan robot dan mesin di sekitar robot), bahaya listrik (seluruh peralatan elektrik terkait proses robot), energi potensial (komponen robot dan mesin maupun aksesoris di sekitar robot), bahan kimia (oli dan grease), dan bahaya panas (pelumas di dalam robot).

Berdasarkan hasil analisa risiko pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot, pekerjaan yang mempunyai risiko tinggi (sebelum dilakukan kontrol risiko) diantaranya adalah pekerjaan penggantian roll kertas di mesin kertas, tes run robot, pekerjaan pengaturan robot yang berhubungan dengan panel atau peralatan listrik lain, penggantian palet di loader, mengatasi gangguan saat pengoperasian robot, seperti gangguan kaca pecah, melakukan teaching robot, pemeriksaan kabel, pemeriksaan dan pembersihan kontroller, penggantian baterai SMB, uji coba robot setelah perbaikan.

Berdasarkan risiko yang terdapat pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot diantaranya adalah

risiko tertabrak lengan robot, tersetrum akibat adanya kebocoran listrik, tertimpa benda berat, iritasi kulit akibat terkena benda panas maupun bahan kimia, kerusakan properti perusahaan (termasuk kerusakan robot). Pada penelitian ini jumlah pengaman yang teridentifikasi terdiri dari pagar di sekeliling sel robot, pintu interlock, tombol emergency stop, light curtain dan sistem grounding.

Berdasarkan hasil analisa risiko, sisa risiko tinggi yang masih terdapat pada pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot antara lain :

- Tertabrak robot saat operator A masih berada di dalam area pergerakan robot sementara operator B menjalankan robot dari luar sel robot
- Tertabrak robot saat operator bersama rekan kerjanya melakukan teaching di dalam sel robot dengan kecepatan maksimum (2000 mm/sec)
- Tertabrak robot saat seseorang masuk ke dalam sel robot saat robot beroperasi secara otomatis.
- Tertimpa rol kertas (berat 1 ton) saat mengangkat rol kertas dengan menggunakan hoist dan alat angkat rol kertas

Berdasarkan penelitian ini secara umum sistem keselamatan pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot di PT X sudah cukup baik namun ada beberapa saran dalam pengendalian resiko pekerjaan pengoperasian dan *maintenance* robot yang dapat dilakukan antara lain:

1. Memasang safety mat (matras keselamatan) untuk mendeteksi keberadaan orang di dalam sel robot. Mengurangi kecepatan saat teaching, dari kecepatan maksimum (2000 mm/sec) dirubah menjadi 250 mm/sec sesuai dengan standar iso 10218-1

tentang persyaratan keselamatan robot industri.

2. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menghindari seseorang dapat masuk ke dalam sel robot saat robot sedang beroperasi yaitu memendekkan rantai interlock agar tidak ada celah orang dapat masuk tanpa melepas intelock, merubah bentuk door curtain yang awalnya berbentuk datar persegi panjang menjadi berbentuk setengah persegi panjang menyesuaikan dengan bentuk palet dan loader sehingga tidak terdapat celah di bagian bawah door curtain ketika loader ditarik keluar, dan memindahkan posisi switch yang ada di depan mesin kertas ke tempat yang tidak terjangkau oleh orang yang ada di area mesin kertas sehingga orang tersebut tidak dapat membuka door curtain yang membatasi area mesin kertas dan area sel robot dari dalam area mesin kertas.
3. Memasang GFCI (Ground fault circuit interruption) untuk melengkapi sistem grounding yang sudah terpasang.
4. Melakukan modifikasi terhadap alat handling rol kertas agar lebih stabil dan aman saat digunakan untuk mengangkat rol kertas
5. Membuat prosedur tertulis terkait pekerjaan *maintenance* robot baik yang bersifat preventive maupun kuratif dan menjalankannya sesuai prosedur.
6. Melakukan pengecekan terhadap fungsi dari alat keselamatan seperti emergency stop, light curtain dan pintu interlock secara periodik.
7. Menggunakan matriks penilaian risiko PT X yang telah dimodifikasi oleh penulis untuk menilai risiko di PT X.

#### **Daftar Pustaka**

- AS/NZS 4360:2004, 2004. Risk Management. *Australian / New Zealand Standard.*

- Body, O.H.S., Hazard, K. & April, C., 2012. Hazard as a Concept.
- Body, O.H.S., Hazards, K.P. & April, E., 2012. Physical Hazards : Electricity.
- Department of Energy (DOE) OSH Technical Reference. (1998). Industrial Robots. Available: Internet: [http://tis.eh.doe.gov/docs/osh\\_tr/ch1.html](http://tis.eh.doe.gov/docs/osh_tr/ch1.html)
- Dhillon, B.S., & Fashandi, A. (1997). Safety and reliability assessment techniques in robotics. *Robotica*, 15 (6)
- Dhillon, B.S., 1991. Robot Accidents 4.1. In *Robot reliability and safety*. New York: Springer-Verlag. pp. 49–68.
- Glossop, M. & Gould, J., 2005. © Crown copyright (2000). , 44(0).
- Graham, J.H. (1991). Safety reliability and human factors in robotic systems. New York: Van Nostrand Reinhold
- Haddon, W., 1973. Energy damage and the 10 countermeasures strategies. *J Trauma*. 13(4) 321- 331.
- Hazards, C., 2012. *Chemical Hazards*,
- Hill, H., 2012. Collision and injury criteria when working with collaborative robots RR906 Collision and injury criteria when working with collaborative robots.
- Ifr, 2013. Executive Summary 1 . World Robotics 2013 Industrial Robots 2 . World Robotics 2013 Service Robots 1 . World Robotics 2013 Industrial Robots. *World Robotic Report - Executive Summary*, pp.10–21.
- ISO 12100, 2010. Safety of Machinery - General Principles for Design - Risk Assessment and Risk Reduction. *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2010.
- ISO 14121-1, 2007. Safety of machinery - Risk assessment Part1 : Principles. *International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*, 2007.
- Nokata, M. & Ikuta, K., 2007. Risk Evaluation of Human-Care Robots., (August).
- Occupational Safety and Health. (1999). *OSHA Technical Manual, TED 1-0.15A*. US Department of Labor. Available: Internet: [http://www.osha-slc.gov/dts/osta/otm/otm\\_toc.html](http://www.osha-slc.gov/dts/osta/otm/otm_toc.html) 82
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja
- Rausand, Marvin, 2012. Risk Assessment, Theory, Methods, and Applications, New Jersey : A Jhon Wiley & Sons, Inc Publication
- Safety Institute of Australia Ltd, 2012. *OHS Body of Knowledge Risk April, 2012*,