

EVALUASI SISTEM MANAJEMEN K3 DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK (STUDI KASUS INDUSTRI GALANGAN KAPAL)

Danang Setiawan

Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia
Email: danang.setiawan@uii.ac.id

ABSTRAK

Risiko kecelakaan kerja berkembang seiring dengan fungsi waktu. Industri galangan kapal merupakan sektor unggulan Indonesia, dengan karakteristik aktivitas kerja berat dan risiko kecelakaan kerja tinggi. Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk mengevaluasi sistem manajemen K3 di sistem amatan. Pendekatan sistem dinamik digunakan karena keunggulan dalam memodelkan dinamisasi dan ketidaklinieran dalam sistem. Model sistem dinamik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pihak manajemen dalam pengambilan keputusan terkait dengan K3. Hasil simulasi model diperoleh gambaran masih kurang optimalnya sistem manajemen K3, ditunjukkan dengan adanya fluktuasi tingkat risiko, tingkat kecelakaan kerja, safety KSA dan biaya K3. Berdasarkan hasil simulasi model kondisi eksisting, dirumuskan empat skenario perbaikan dan diuji efektifitasnya menggunakan model yang telah dibuat. Hasil perbandingan skenario diperoleh hasil bahwa alternatif skenario pelatihan K3 dan pemberian reward-punishment memberikan hasil terbaik, yaitu tingkat bahaya tertangani per bulan 14,26, safety KSA 3.07 dan tingkat kecelakaan kerja 0.17 per bulan. Model sistem dinamik dibuat secara umum sehingga dapat digunakan untuk menganalisis implementasi K3 di sistem amatan yang lain.

Kata kunci: *K3, sistem manajemen K3, SMK3 sistem dinamik, industri galangan kapal*

Pendahuluan

Beberapa penelitian telah merekomendasikan pendekatan berbasis sistem dalam mengevaluasi implementasi K3. Melalui pendekatan berbasis sistem, permasalahan K3 dilihat sebagai sistem sosio-teknikal, dimana kinerjanya dipengaruhi oleh beberapa faktor di dalam sistem [1]. Rekomendasi pendekatan berbasis sistem didasarkan pada adanya dinamisasi dan ketidaklinieran dalam sistem yang dapat mempengaruhi kinerja K3 [2]. Kecelakaan kerja, sebagai salah satu indikator K3, terjadi akibat adanya kesalahan fungsi interaksi antar komponen dalam sistem [3], [4]. Salah satu pendekatan berbasis sistem yang direkomendasikan untuk digunakan dalam mengevaluasi kecelakaan kerja dan implementasi K3 adalah pendekatan sistem dinamik [5].

Industri galangan kapal merupakan salah satu industri yang termasuk dalam 22 kegiatan ekonomi utama Indonesia, sebagaimana tercantum dalam Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) [6]. Industri galangan kapal memiliki karakteristik risiko kecelakaan kerja tinggi sebagai konsekuensi dari aktivitas kerja berat pada setiap prosesnya. Kondisi eksisting sistem amatan telah memiliki standar K3 OHSAS 18001:2007, namun implementasinya masih kurang optimal. Data historis di sistem amatan menunjukkan adanya fluktuasi tingkat kecelakaan kerja, dengan klasifikasi penyebab 56% kecelakaan kerja karena perilaku tidak aman, 14% kondisi tidak aman dan 30% perpaduan antara perilaku dan kondisi tidak aman. Sedangkan risiko K3 dikelompokkan dalam aspek lingkungan kerja, peralatan kerja dan perilaku pekerja [7].

Dalam penelitian ini dikembangkan model sistem dinamik untuk mengevaluasi sistem manajemen K3, dengan studi kasus industri galangan kapal. Penggunaan model memiliki keunggulan dalam memahami perilaku sistem secara keseluruhan dan menyelidiki dampak dari keputusan sebelum diimplementasikan. Model sistem dinamik juga dapat menggambarkan kinerja sistem manajemen K3 terhadap fungsi waktu, sehingga dapat dijadikan sebagai dasar tindakan preventif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa risiko kecelakaan kerja berkembang secara bertahap terhadap fungsi waktu dari gabungan kesalahan-kesalahan faktor manusia mesin [8], [9]. Model sistem dinamik yang dikembangkan, dibuat secara umum sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem manajemen K3 di sistem amatan lain.

Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan dilakukannya studi literatur tentang pendekatan sistem dinamik dalam mengevaluasi risiko K3, serta studi lapangan untuk mengumpulkan data sistem manajemen K3 di sistem amatan. Penelitian ini menggunakan industri galangan kapal sebagai obyek amatan. Pemilihan didasarkan pada potensi industri galangan kapal sebagai sektor unggulan Indonesia (MP3EI), namun memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi.

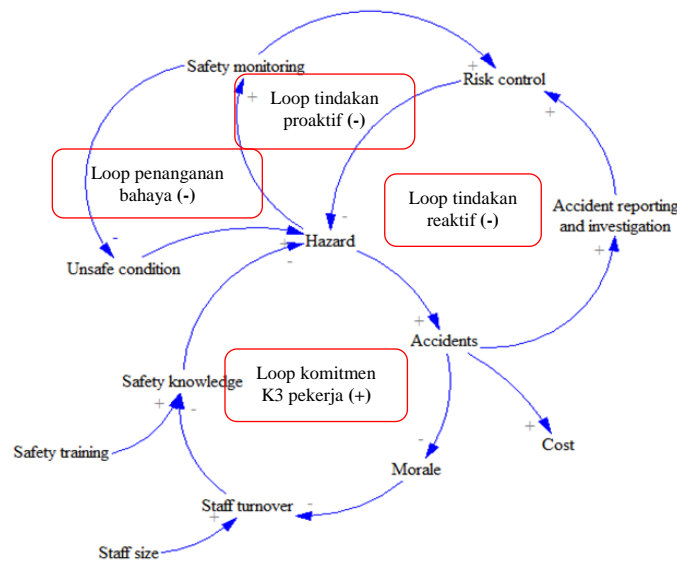
Model sistem dinamik dibuat dengan didahului tahap identifikasi variabel. Variabel selanjutnya diformulasikan dalam *causal loop* yang dikembangkan berdasarkan *generic occupational safety model* (GOSM) [1]. *Causal loop* selanjutnya dijadikan sebagai dasar dalam pembuatan diagram *stock-flow*. Diagram *stock-flow* yang telah dibuat dilakukan validasi dan verifikasi model menggunakan metode uji struktur, uji kondisi ekstrim, uji perilaku model. Model yang telah dinyatakan valid dan dilakukan verifikasi, selanjutnya disimulasikan untuk memahami kondisi eksisting sistem amatan.

Skenario perbaikan selanjutnya dirumuskan dengan dasar pandangan pembuat model dan ahli K3 di sistem amatan. Skenario perbaikan dibuat dengan dasar hasil simulasi kondisi eksisting. Skenario perbaikan selanjutnya disimulasikan menggunakan model yang telah dibuat, dan dilakukan perbandingan masing-masing skenario.

Hasil dan Pembahasan

Penyusunan Model Konseptual

Model *causal loop* dibuat dengan dasar *generic occupational safety model* (GOSM) dan dilakukan pengembangan sesuai dengan karakteristik sistem amatan [1]. GOSM terdiri dari 2 *loop* keseimbangan (*loop* tindakan proaktif dan *loop* tindakan reaktif) dan 1 *loop* penguatan (*loop* komitmen K3 pekerja). Pengembangan model dilakukan dengan penambahan 1 *loop* keseimbangan, yaitu *loop* penanganan bahaya. Penambahan 1 *loop* didasarkan pada evaluasi model *causal loop* GOSM yang hanya mempertimbangkan faktor manusia dan faktor organisasi. *Loop* penanganan bahaya merupakan representasi faktor teknis yang belum dipertimbangkan dalam *causal loop* GOSM. Polaritas keseluruhan *causal loop* adalah negatif (-), sesuai dengan representasi sistem amatan bahwa diharapkan kinerja sistem manajemen K3 menuju titik keseimbangan.



Gambar 1. Model *causal loop*

Loop 1. Loop tindakan reaktif (loop balancing (-)) : Loop tindakan reaktif menggambarkan tindakan yang akan dilakukan apabila terjadi kecelakaan kerja. Ketidakkampuan mengelola *hazard* akan mengarah pada penambahan jumlah kecelakaan kerja (*accidents*) dan berdampak pula pada tindakan penanganan (*accident reporting and investigation*). Upaya pengendalian risiko (*risk control*) dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi *hazard*.

Loop 2. Loop komitmen K3 pekerja (loop reinforcing (+)): Tingginya angka kecelakaan kerja (*accident*) dapat mengarah pada penurunan semangat pekerja (*morale*) dan kemudian dapat berdampak pada jumlah tenaga kerja yang keluar (*staff turnover*). Pemberian pelatihan terkait K3 (*safety training*) dapat mengarah pada peningkatan pemahaman K3 pekerja (*safety knowledge*), dimana pemahaman K3 akan menurunkan tingkat *hazard*.

Loop 3. Loop tindakan proaktif K3 (loop balancing (-)): Loop menggambarkan upaya pencegahan sebelum kecelakaan kerja terjadi. Tingginya *hazard* menyebabkan pengawasan K3 (*safety monitoring*) diperlukan lebih banyak. *Safety monitoring* merupakan salah satu upaya pengendalian risiko (*risk control*), sehingga dengan bertambahnya upaya *risk control* tingkat *hazard* akan menurun.

Loop 4. Loop penanganan bahaya (loop balancing (-)): Loop menggambarkan adanya *hazard* sebagai akibat dari faktor teknis, yang digambarkan dalam kondisi kerja tidak aman (*unsafe condition*). Tindakan pengawasan (*safety monitoring*) dapat berperan dalam mengurangi *unsafe condition* dan penurunan *unsafe condition* akan berpengaruh pula terhadap penurunan *hazard*.

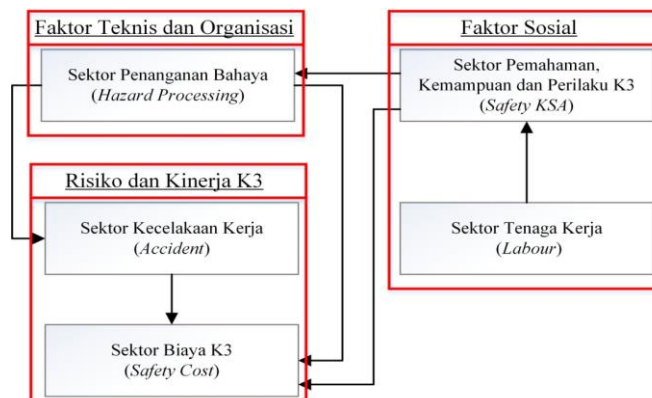
Pengolahan Data Input Variabel

Sumber data model sistem dinamik dapat dikategorikan dalam tiga jenis sumber data, yaitu sumber data mental, sumber data tertulis dan sumber data numerik [10]. Sumber data mental berasal dari asumsi pembuat model dan ahli K3 di sistem amatan. Sumber data tertulis diperoleh dari regulasi pemerintah tentang dengan K3 dan penelitian terdahulu yang terkait. Sedangkan sumber data numerik didapatkan dari data historis kinerja K3 di sistem amatan dan data kuantitatif dari penelitian terdahulu.

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan perhitungan nilai input variabel stock-flow diagram. Data input model stock-flow terdiri dari: (1) tingkat kecelakaan kerja (*accident rate*); (2) waktu proses laporan kecelakaan kerja (*accident reporting time*); (3) alokasi jam kerja untuk menangani kecelakaan kerja (*accident reporting policy*); (4) tingkat bahaya area kerja (*workplace hazard*); (5) waktu yang diperlukan untuk penanganan bahaya (*hazard regulation time*); (6) alokasi jam kerja untuk penanganan bahaya (*hazard regulation policy*); (7) alokasi waktu untuk mengatur dan mengevaluasi kinerja K3 (*safety monitoring policy*); (8) masa kerja pekerja (*length of employment*); (9) jumlah pelatihan K3 (*training policy*); (10) biaya terkait K3 (*safety cost*); (11) jumlah tenaga kerja (*safety size*); dan pemahaman, kemampuan dan perilaku K3 pekerja (*safety KSA*).

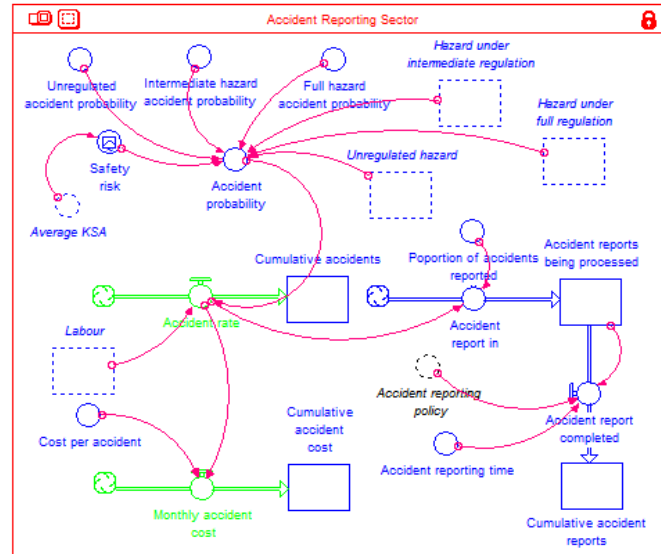
Stock and Flow Diagram

Stock and flow diagram merupakan gambaran interaksi antar variabel berdasarkan struktur logika *software* simulasi yang digunakan. Diagram *stock-flow* dibuat berdasarkan model konseptual (*causal loop*) yang telah dirumuskan. Diagram *stock-flow* diuraikan dalam lima sektor, yaitu: (1) sektor penanganan bahaya; (2) sektor *safety KSA*; (3) sektor tenaga kerja; (4) sektor penanganan kecelakaan kerja; dan (5) sektor biaya K3. Hubungan lima sektor tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan sektor *stock and flow diagram*

Diagram *stock-flow* sektor penanganan laporan kecelakaan kerja ditunjukkan pada Gambar 3. Sektor penanganan laporan kecelakaan kerja dibuat dengan acuan GOSM [1] dan bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kecelakaan kerja dan penanganan kecelakaan kerja di sistem amatan. Tingkat risiko dan kinerja K3 di sistem amatan diukur berdasarkan tingkat kecelakaan kerja (*accident rate*) dan biaya yang dikeluarkan akibat kecelakaan kerja (*accident cost*). Tingkat kecelakaan kerja dihitung berdasarkan perkalian antara kemungkinan kejadian kecelakaan tiap pekerja (*accident probability*) dan dengan jumlah pekerja (*labour*). *Accident probability* diformulasikan dari perkalian antara tingkat risiko (*risk*) dengan kemungkinan kejadian kecelakaan kerja pada masing-masing kategori bahaya (*hazard accident probability*).



Gambar 3. Stock and flow diagram sektor accident reporting

Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat kesalahan (*error*) dalam model yang telah dibuat. Sedangkan validasi dilakukan untuk menguji apakah model simulasi mampu mewakili permasalahan aktual sistem amatan. Verifikasi model dilakukan dengan memeriksa formulasi dan satuan variabel model, baik secara manual maupun dengan *software* simulasi. Hasil uji verifikasi model, diperoleh bahwa formulasi dan satuan model konsisten dan tidak terdapat *error* selama model dijalankan.

Validasi model dilakukan dengan empat metode, yaitu uji struktur model, uji parameter model, uji kondisi ekstrem dan uji perilaku model. Uji struktur dilakukan untuk mengevaluasi apakah struktur model sesuai dengan sistem nyata, model dalam penelitian ini dibuat berdasarkan model konseptual GOSM, sehingga dapat dikatakan model telah memenuhi uji struktur. Uji parameter model dimaksudkan untuk melihat pola interaksi antara dua variabel yang saling berhubungan, kemudian dibandingkan dengan logika aktual di sistem amatan. Salah satu contoh pengujian yang dilakukan adalah uji parameter tingkat kecelakaan terhadap waktu. Hasil pengujian menunjukkan hasil tingkat kecelakaan kerja menurun berdasarkan fungsi waktu. Hal ini sesuai dengan desain model yang diharapkan, yaitu terjadi penurunan kecelakaan kerja terhadap fungsi waktu. Uji kondisi ekstrem ditujukan untuk mengetahui apakah model dapat mengakomodir nilai ekstrem variabel. Contoh uji kondisi ekstrem yang dilakukan adalah pengujian tidak adanya kebijakan pengawasan K3 (*safety monitoring policy* = 0). Hasil pengujian diperoleh peningkatan *accident rate*, dimana hal ini sesuai dengan logika aktual sistem amatan. Uji perilaku model merupakan uji kuantitatif *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan sistem aktual. Pengujian dilakukan dengan membandingkan *accident rate* hasil simulasi dan kondisi aktual yang terjadi. Hasil perhitungan MAPE diperoleh tingkat *error* 8,3%, sehingga dapat dinyatakan bahwa model valid (model dinyatakan *valid* apabila nilai MAPE kurang dari 10%).

Hasil Simulasi Model

Model dijalankan menggunakan data input variabel yang telah didefinisikan. Gambar 4 merupakan salah satu contoh hasil simulasi model yang menggambarkan kondisi eksisting sistem amatan. Risiko K3 meningkat seiring bertambahnya waktu. Tingkat kecelakaan kerja mengalami fluktuasi sebagai hasil dari fluktuasi peluang terjadinya kecelakaan. Peningkatan risiko K3 dan fluktuasi peluang terjadinya kecelakaan mengindikasikan bahwa penanganan K3 di sistem amatan masih belum optimal. Apabila kondisi eksisting tidak diberikan kebijakan penanganan yang tepat, maka risiko K3 akan mengalami peningkatan dan berdampak pada peningkatan jumlah kecelakaan kerja.

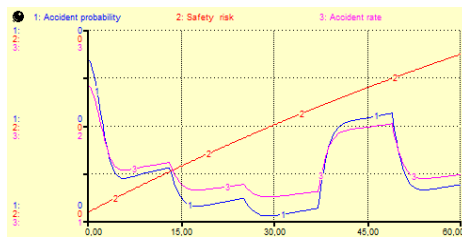
Pengembangan Skenario Perbaikan

Model dapat digunakan untuk mengetahui efektifitas dan efisiensi dari setiap skenario perbaikan sebelum diberlakukan di kondisi aktual sistem amatan. Model simulasi yang dibuat telah dilakukan uji verifikasi dan validasi model. Sehingga dapat dikatakan model mampu merepresentasikan sistem amatan dan hasil yang diperoleh dari model akan sesuai dengan hasil di sistem amatan.

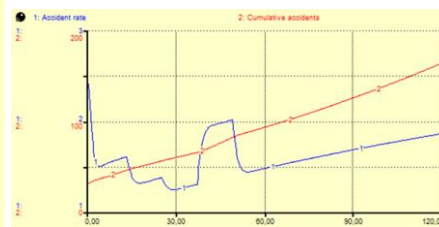
Skenario perbaikan dikembangkan berdasarkan perspektif pembuat model dan ahli K3 di sistem amatan. Dari perspektif pembuat model, skenario dikembangkan dengan mengacu pada lima variabel keputusan dalam model, yaitu: (1) pelaporan dan investigasi kecelakaan kerja (*accident reporting and investigation*); (2) monitoring K3 (*safety monitoring*); (3) pengendalian risiko (*risk control*); (4) pelatihan K3 (*safety training*); dan (5) jumlah tenaga kerja (*staff size*). Horizon waktu pengujian adalah 10 tahun, terdiri dari 5 tahun kondisi eksisting dan 5 tahun periode kedepan.

Terdapat empat skenario perbaikan yang dikembangkan, yaitu: (1) *skenario 1*: penambahan sumber daya untuk penanganan bahaya; (2) *skenario 2*: pemberian *reward-punishment* K3; (3) *skenario 3*: pemberian pelatihan K3; dan (4) *skenario 4*: kombinasi antara pemberian *reward-punishment* dan pelatihan K3.

Hasil simulasi *skenario 1* menunjukkan bahwa penambahan waktu untuk penanganan bahaya tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja K3 di sistem amatan (Gambar 5). Hal ini mengindikasikan bahwa alokasi waktu untuk penanganan bahaya di sistem amatan sudah optimal (4.3 jam). Pengujian skenario 1 dengan menurunkan waktu penanganan memberikan hasil penurunan pada kinerja K3.

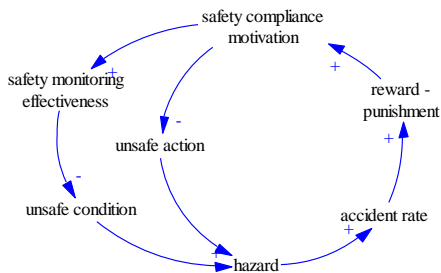


Gambar 4. Hasil simulasi kondisi eksisting

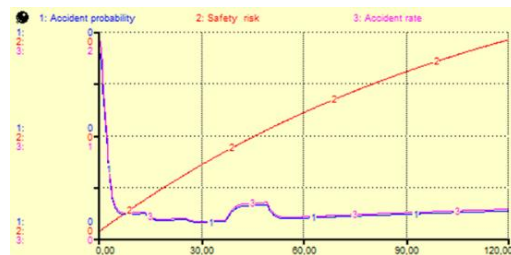


Gambar 5. Hasil simulasi *skenario 1*

Kondisi eksisting di sistem amatan, pihak manajemen belum menerapkan kebijakan pemberian *reward-punishment* K3. Pihak manajemen beranggapan bahwa pemberian *reward-punishment* tidak signifikan dalam meningkatkan kinerja K3 dan merupakan komponen dari biaya pengeluaran. Pemberian *reward-punishment* dapat mengarah pada peningkatan motivasi pekerja untuk aktif berpartisipasi dalam program K3 [11]. Pemberian *reward-punishment* berpengaruh pada peningkatan motivasi pekerja untuk mematuhi peraturan K3 [12]. Motivasi pekerja terhadap K3 selanjutnya dapat mengarah pada penurunan kondisi tidak aman (*unsafe condition*) dan perilaku tidak aman pekerja (*unsafe action*) [9]. Modifikasi model untuk skenario pemberian *reward-punishment* ditunjukkan pada *causal loop* Gambar 6.



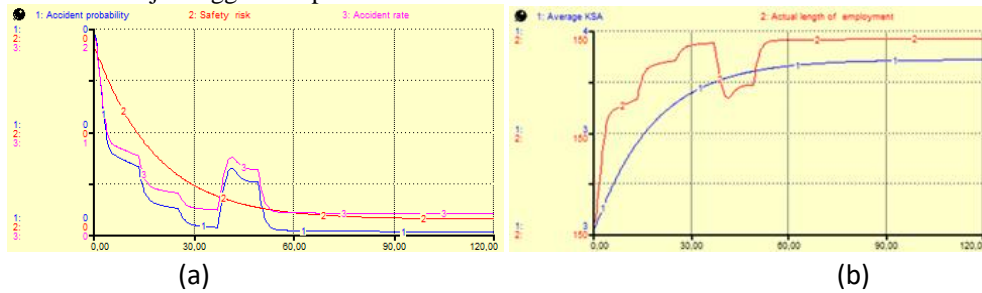
Gambar 6. Diagram causal loop *skenario 2*



Gambar 7. Hasil simulasi *skenario 2*

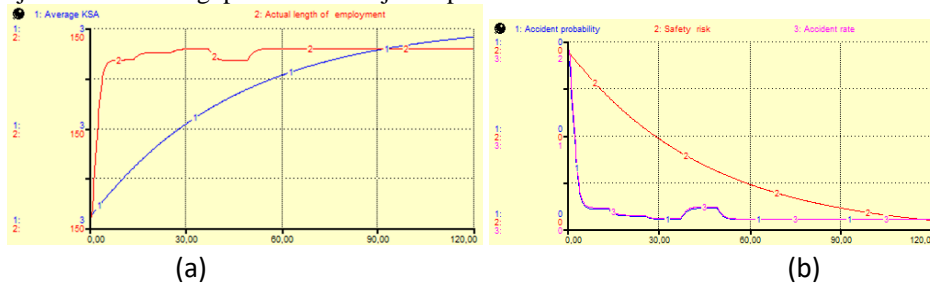
Hasil simulasi model *skenario 2* menunjukkan terjadinya penurunan tingkat kecelakaan kerja (*accident rate*) secara signifikan dibanding skenario 1 dan kondisi eksisting (Gambar 7). Meski demikian, *safety risk* cenderung mengalami peningkatan dan berakibat pada peningkatan *accident rate* pada bulan ke 60 (tahun ke 5). Peningkatan *safety risk* dapat terjadi karena *skenario 2* tidak berdampak pada peningkatan *safety* KSA pekerja. Upaya peningkatan *safety* KSA pekerja perlu dilakukan karena memiliki pengaruh pada penurunan *safety risk* sebagaimana akan diuji pada *skenario 3*.

Pada kondisi eksisting sistem amatan, pelatihan K3 telah dilaksanakan 2 kali setiap tahun dan hanya diikuti oleh perwakilan bagian. *Skenario 3* dilakukan dengan menambah jumlah pelatihan dan peserta pelatihan. Hasil simulasi model *skenario 3* menunjukkan adanya penurunan tingkat kecelakaan kerja (*accident rate*) secara signifikan. Penurunan *accident rate* terjadi karena adanya penurunan peluang terjadinya kecelakaan kerja (*accident probability*), dimana penurunan *accident probability* ini merupakan hasil dari penurunan tingkat risiko K3 (*safety risk*) (Gambar 8.a). *Safety risk* turun karena terjadinya peningkatan pemahaman, kemampuan dan perilaku K3 pekerja (*safety KSA*). Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa pelatihan K3 memiliki pengaruh pada peningkatan *safety KSA*, dan peningkatan *safety KSA* berpengaruh pada penurunan *accident rate* (Gambar 8.b). Hasil simulasi *skenario 3* menunjukkan bahwa penambahan 1 jam pelatihan per bulan berpengaruh positif pada penurunan kecelakaan kerja hingga 16% per tahun.



Gambar 8. Hasil simulasi *skenario 3*

Hasil simulasi *skenario 2* (*reward-punishment*) dan *skenario 3* (pelatihan K3) menunjukkan pengaruh signifikan terhadap penurunan *accident rate*, meskipun pada *skenario 2*, *accident rate* mengalami peningkatan pada tahun kelima. Pada kondisi nyata, skenario 2 dan skenario 3 seringkali diterapkan secara bersamaan, dimana *reward-punishment* ditujukan untuk mengoptimalkan kebijakan pelatihan K3.



Gambar 9. Hasil simulasi *skenario 4*

Hasil perbandingan keempat skenario perbaikan ditunjukkan pada Tabel 1. *Skenario 4*, yaitu kombinasi antara pemberian *reward-punishment* dan pelatihan K3, merupakan skenario terbaik dibanding tiga skenario lainnya. Hasil simulasi *skenario 4* menunjukkan kinerja K3 terbaik, yaitu *regulated hazard* paling tinggi (14.26), *unregulated hazard* paling rendah (0.1), *average safety KSA* paling tinggi (3.07), dan *accident rate* paling rendah (0.17).

Tabel 1. Perbandingan hasil skenario perbaikan

| Ukuran kinerja K3 | Eksisting | Skenario 1 | Skenario 2 | Skenario 3 | Skenario 4 |
|------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Regulated hazard</i> | 12.66 | 12.66 | 14.14 | 13.22 | 14.26 |
| <i>Unregulated hazard</i> | 0.63 | 0.63 | 0.14 | 0.45 | 0.1 |
| <i>Average KSA</i> | 2.47 | 2.47 | 2.54 | 3.07 | 3.07 |
| <i>Accident rate (bulan)</i> | 1.12 | 1.12 | 0.27 | 0.62 | 0.17 |

Penggunaan metode sistem dinamik dalam menganalisis implementasi sistem manajemen K3 memiliki keunggulan sebagai alat bantu untuk dapat memahami implementasi K3 secara menyeluruh, Sistem dinamik dapat menangkap adanya non-linearitas dan interaksi antar variabel dalam sistem. Sebagaimana ditunjukkan pada simulasi model, pengaruh antara variabel keputusan terhadap variabel respon dapat secara jelas digambarkan. Model dapat menjelaskan pengaruh antara variabel keputusan, yaitu penanganan laporan kecelakaan kerja, pengawasan K3,

pelatihan K3, reward-punishment dan alokasi tenaga kerja, terhadap variabel respon yaitu, tingkat bahaya, tingkat kecelakaan kerja, *safety* KSA, dan biaya K3.

Model sistem dinamik dapat memberikan gambaran perilaku sistem, tidak hanya pada periode ketika pengamatan dilakukan, tetapi juga beberapa periode kedepan. Sebagaimana ditunjukkan pada hasil simulasi model, perilaku sistem amatan dapat digambarkan hingga 10 tahun kedepan. Model sistem dinamik juga dapat digunakan sebagai sarana untuk menguji efektifitas dan efisiensi dari setiap skenario perbaikan. Kedua hal ini, pemahaman perilaku periode kedepan dan pengujian skenario perbaikan, dapat menjadi peluang bagi pihak manajemen untuk menentukan kebijakan K3 yang tepat bagi perusahaannya.

Pihak manajemen seringkali memiliki keengganan dalam mengimplementasikan K3 di perusahaan, karena anggapan bahwa implementasi K3 hanya berdampak pada biaya pengeluaran. Melalui model sistem dinamik, pihak manajemen dapat mengetahui dengan jelas pengaruh positif dari setiap kebijakan K3 yang dijalankan. Model simulasi sistem dinamik, yang dibuat berdasarkan model GOSM, bersifat umum dan dapat digunakan untuk menganalisis sistem amatan lain dengan sedikit penyesuaian sesuai dengan karakteristik sistem amatan.

Simpulan

Faktor kritis model sistem dinamik K3 dapat dikelompokkan dalam variabel keputusan, yang terdiri dari penanganan pengawasan K3, pelatihan K3, pemberian *reward-punishment*, dan alokasi tenaga kerja, dan variabel respon yang terdiri dari, tingkat bahaya, kecelakaan kerja, biaya dan *safety* KSA. Hasil simulasi model sistem dinamik K3 dapat dilihat bahwa sistem manajemen K3 di sistem amatan belum optimal diimplementasikan, yang ditunjukkan dari fluktuatifnya tingkat bahaya K3 dan kecelakaan kerja, serta *safety* KSA yang cenderung menurun seiring bertambahnya waktu.

Upaya perbaikan dirumuskan empat skenario perbaikan, yaitu penambahan alokasi tenaga kerja, pelatihan K3, *reward-punishment*, serta kombinasi antara pelatihan K3 dan *reward-punishment*. Skenario perbaikan disimulasikan dalam model sistem dinamik K3 dan diperoleh hasil bahwa kombinasi pelatihan K3 dan *reward-punishment* mampu memberikan hasil yang terbaik. Hasil terbaik ditunjukkan dengan *regulated hazard* paling tinggi (14.26), *unregulated hazard* paling rendah (0.1), *average safety* KSA paling tinggi (3.07), dan *accident rate* paling rendah (0.17). Model simulasi sistem dinamik K3 bersifat umum sehingga dapat digunakan untuk menganalisis sistem amatan lain dengan penyesuaian sesuai karakteristik sistem amatan.

Daftar Pustaka

- [1] J. D. Moizer, "System Dynamics Modelling of Occupational Safety : A Case Study Approach," University of Stirling, 1999.
- [2] S. Dekker, *The field guide to understanding human error*. Aldershot: Ashgate Publishing Ltd., 2006.
- [3] N. Leveson, "A new accident model for engineering safety systems," *Saf. Sci.*, vol. 42, no. 4, pp. 237–270, 2004.
- [4] Z. H. Qureshi, "A Review of accident modelling approaches for complex socio-technical systems," in *12th Australian Workshop on Safety Related Programmable Systems (SCS'07)*, 2007, vol. 86.
- [5] T. Kontogiannis, "Modeling patterns of breakdown (or archetypes) of human and organizational processes in accidents using system dynamics," *Saf. Sci.*, vol. 50, no. 4, pp. 931–944, 2012.
- [6] MP3EI, *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025*. Jakarta: Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2011.
- [7] N. L. Hanum, "Implementasi behaviour-based safety pada SMK3 guna meningkatkan safe behaviour pekerja," ITS Surabaya, 2012.
- [8] C. Perrow, *Normal accidents: living with high-risk technologies*. New Jersey: Princeton University Press, 1999.
- [9] J. Reason, *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [10] J. W. Forrester, "Policies , decisions and information sources for modeling," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 59, no. 1, pp. 2–3, 1992.
- [11] K. Marais, J. H. Saleh, and N. G. Leveson, "Archetypes for Organisational Safety Karen Marais and Nancy G. Leveson; MIT Department of Aeronautics and Astronautics; Cambridge, Massachusetts, U.S.A. Keywords: organisational safety, system dynamics, archetypes," *Saf. Sci.*, vol. 44, no. 7, pp. 565–582, 2006.
- [12] J. Stranks, *Human factor and behavioural safety*. New York: Routledge, 2007.