

MODEL PREDIKSI KELELAHAN PEKERJA KONSTRUKSI DI LOKASI PROYEK

Lila Ayu Ratna Winanda¹, Trijoko Wahyu Adi² dan Nadjadji Anwar²

¹Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang

Email: lilawinanda@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, ITS Surabaya

Email: trijoko_w@yahoo.com

Email: nadjadji@gmail.com

Abstrak: Konstruksi merupakan kegiatan dinamis dengan waktu dan jadwal tertentu sehingga dalam perencanaan sumber daya manusia harus disusun secara efektif. Konsekuensi hal ini adalah jadwal kerja yang padat dan dapat menyebabkan kelelahan pada pekerja konstruksi. Kelelahan pekerja konstruksi merupakan sebuah proses yang dapat berubah seiring waktu. Kelelahan dapat dideteksi berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya dimana satu sama lain mungkin saling berkaitan. Untuk itu, salah satu metode yang dapat digunakan dalam pemecahan masalah kelelahan pekerja konstruksi adalah pendekatan sistem dinamik. Metode yang dilakukan dalam kajian ini mengikuti langkah pendekatan model pada sistem dinamik. Tahapan dalam analisis sistem dinamik diawali dengan identifikasi dan konseptualisasi sistem berdasarkan variabel kelelahan pekerja, kemudian dilakukan identifikasi interaksi variabel menggunakan diagram sebab akibat (*causatic diagram*) dan diagram anak panah (*stock flow diagram*). Dalam analisis ini digunakan alat bantu *software vensim*. Berdasarkan hasil kajian, diperoleh sebuah model prediksi kelelahan pekerja konstruksi yang telah terverifikasi dan tervalidasi melalui formulasi yang dirumuskan. Skenariosasi pada model kelelahan pekerja konstruksi menunjukkan bahwa semakin kompleks variabel yang berpengaruh dalam sistem maka perubahan tingkat kelelahan yang terjadi pada pekerja juga semakin signifikan.

Kata kunci: Kelelahan, Pekerja konstruksi, Sistem dinamik

Abstract: Construction is a dynamic considerable time and schedule in that the design of resource used, especially for workers must be designed very effectively. The consequences of the project objective is a dense time schedule that can make the workers exhausted in construction. Construction worker fatigue is changeable process over time. Fatigue can be detected based on the influencing factors in which they are related to each other. Therefore, one of the methods used for the problem solving of fatigue in construction workers fatigue is dynamic system approach. The method used in this analysis followed model approach steps on dynamic system. The steps in analysis of dynamic system was started by system identification and conceptualization based on variables of workers fatigue, then it conducted interaction identification of one variable and others by using a causal loop diagram (*causatic diagram method*) and arrow diagram (*stock flow diagram*). This analysis used *software vensim* as a supporting tool. Based on the results of the analysis, it obtained a prediction model of construction workers fatigue that has been verified and validated through well-defined formula. The scenario in construction workers fatigue model showed that the more complex the variable influencing in system the more significant level changing on workers fatigue level.

Keywords: construction workers, dynamic system, fatigue

PENDAHULUAN

Masalah keselamatan dan kesehatan kerja khususnya pada industri konstruksi di Indonesia masih perlu mendapat perhatian serius dari seluruh pihak karena cukup tingginya angka kejadian kecelakaan yang ada. Masalah keselamatan dan kesehatan kerja secara signifikan menimbulkan kerugian-kerugian antara lain terganggunya jadwal kerja, pembengkakan biaya, dampak psikologis bagi pekerja serta nama baik perusahaan (Wirahadikusumah, 2014).

Proyek konstruksi merupakan kegiatan yang dinamis dengan *constraints* cukup ketat terkait biaya, jadwal dan mutu pelaksanaan. Struktur penjadwalan yang padat dalam penggunaan sumber daya manusia sebagai pelaksana, memaksa penanggung jawab proyek untuk menuntut kinerja yang tinggi kepada tenaga kerja lapangan. Kondisi ini dapat memicu tingkat stres pada pekerja konstruksi karena beban kerja yang tinggi sehingga keluhan kelelahan pada pekerja konstruksi sering kali terjadi pada jam kerja. Pekerja konstruksi dengan tingkat kelelahan yang melebihi batas akan memicu terjadinya *human error* dan *unsafe act*. Selain juga terdapat *unsafe condition*, yang terjadi secara terpisah maupun secara bersamaan (Fadel, 2014; Chang, 2008; Hsu, 2008; Hallowell, 2010). (Fristi, 2011). Salah satu *unsafe condition* adalah faktor lingkungan dan karakteristik proyek konstruksi. Faktor lingkungan proyek turut memicu terjadinya kelelahan pekerja konstruksi. *Unsafe act* dan *unsafe condition* berpeluang menimbulkan kecelakaan kerja pada industri konstruksi.

Mengingat masalah kelelahan pekerja konstruksi sebagai penyebab dominan kecelakaan kerja maka diperlukan sebuah analisis mengenai prediksi kelelahan pekerja konstruksi berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya sehingga diharapkan pengembangan model yang disusun dapat menunjang pelaksanaan K3 dalam industri konstruksi melalui manajemen kelelahan pekerja konstruksi.

KAJIAN LITERATUR

Kelelahan Kerja

Kelelahan adalah mekanisme perlindungan tubuh agar tubuh terhindar dari kerusakan lebih lanjut sehingga terjadi

pemulihan setelah istirahat. Kelelahan merupakan kondisi yang ditandai dengan perasaan lelah dan menurunkan kesiagaan serta berpengaruh terhadap produktivitas kerja (O'Neill, 2013).

Sesuai dengan beberapa literatur terdahulu disebutkan bahwa kecelakaan konstruksi disebabkan oleh tiga faktor utama yakni *unsafe act*, *unsafe condition* dan *unsafe equipment* (Fadel, 2014; Chang, 2008; Fang, 2015). (Fristi, 2011). Faktor *human error* dapat menimbulkan adanya *unsafe act*, bahkan berdasarkan 80% kejadian *human error*, maka 50% nya disebabkan oleh kelelahan kerja sehingga *unsafe act* harus menjadi perhatian terkait keselamatan dan kesehatan kerja (Fadel, 2014).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Oesman, dkk disebutkan bahwa kelelahan dapat disebabkan oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal merupakan karakteristik pekerja antara lain terdiri atas usia dan status gizi sedangkan faktor eksternal antara lain beban kerja dan keluhan kerja. Berdasarkan Permenakertrans nomor 1 tahun 1978 menetapkan batas beban yang dapat diangkut oleh pekerja adalah 40 kg dengan frekuensi mengangkat tidak terbatas tergantung berat benda yang diangkat. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh Cahyani, dkk. bahwa untuk pekerja dengan kegiatan mengangkat barang 75-100 kg dalam sekali angkat mengalami keluhan nyeri pinggang sebanyak 32% sedangkan keluhan nyeri adalah salah satu indikator dalam pengukuran kelelahan sehingga faktor beban berlebih sangat mempengaruhi kelelahan pekerja (Manurung, 2013).. Hal sama juga ditunjukkan pada penelitian Irma, dkk. bahwa faktor umur, beban kerja dan lama kerja dapat mempengaruhi kelelahan pada pekerja. Selain umur sebagai faktor yang dominan, juga terdapat faktor berat badan, tinggi badan, keadaan gizi, jenis kelamin, serta gaya hidup pekerja (Chang, 2008; Javaid, 2013).

Meningkatnya usia seseorang berkontribusi pada kerentanan terhadap penyakit khususnya gangguan saluran pernafasan. Terjadinya gangguan pernafasan juga dipicu oleh kebiasaan gaya hidup yang tidak sehat seperti merokok dan mengkonsumsi alkohol. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa usia berpengaruh

terhadap psikomotor pekerja sehingga beresiko kelelahan. Selain itu, usia juga mempengaruhi kemampuan otot yang mengalami penurunan dengan pelemahan paling cepat pada bagian paha. Usia produktif dengan kekuatan otot maksimal adalah antara 25-50 tahun karena mulai usia 45 tahun, sisa kekuatan yang dimiliki pekerja hanya tersisa 70%-80% (Fadel, 2014; Oesman, 2011).

Menurut Maurits seperti yang tercantum dalam penelitian Limbong (2015) disebutkan bahwa faktor eksternal penyebab kelelahan yang berhubungan dengan lingkungan kerja adalah cuaca kerja, kebisingan dan berhubungan dengan faktor stres kerja, jam kerja dan sistem *shift* kerja yang diterapkan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Chang (2008), terdapat hubungan antara faktor lingkungan dengan kelelahan yang terjadi pada pekerja konstruksi. Bekerja pada ketinggian membuat pekerja membutuhkan asupan oksigen lebih banyak untuk membuat kondisinya stabil serta kondisi penglihatan menjadi berkurang sehingga membahayakan posisi pekerja pada ketinggian lokasi kerja. Pekerja jatuh dari ketinggian seperti atap dan *scaffolding* merupakan penyumbang kecelakaan terbesar dalam industri konstruksi (Goh, 2015). Kelelahan pekerja dapat mengakibatkan turunnya produktivitas, hal ini diperkuat dalam penelitian O'Neil (), bahwa seiring ketinggian tempat pelaksanaan pekerjaan maka tingkat produktivitas menurun yang berarti bahwa faktor kelelahan pekerja mengalami peningkatan seiring dengan semakin tingginya lokasi pekerjaan (Chang, 2008; Hsu, 2008; Fang, 2014).

Halowell (2010) dan Purnomo (2014) menyebutkan bahwa penyebab kelelahan pada industri konstruksi adalah jadwal kerja (jam kerja pekerja yang tidak sesuai standar, jam kerja lembur atau jam kerja malam hari serta penerapan sistem *shift* kerja), kondisi istirahat pekerja yang tidak nyaman (tempat istirahat yang tidak layak serta pengaturan jam istirahat yang tidak tepat), kurangnya jam tidur, kondisi lingkungan yang tidak kondusif, kondisi emosi yang tidak sehat, gaya hidup yang tidak baik dan bekerja dengan jenis

pekerjaan yang monoton dalam jangka waktu cukup panjang.

Faktor lingkungan sebagai salah satu faktor penyebab kecelakaan menjadi salah satu pertimbangan dalam analisis kelelahan pekerja. Kondisi lingkungan ini dapat dianalisis dengan mengidentifikasi indikator kelelahan pekerja seperti karakteristik proyek konstruksi dalam hubungan dengan pembebanan yang diterima pekerja, kebisingan dan lokasi tempat bekerja (elevasi ketinggian tempat kerja). Faktor cuaca dilokasi proyek juga menjadi faktor yang harus dipertimbangkan dalam analisis seperti suhu lingkungan, tekanan angin dan paparan panas matahari yang menyebabkan tekanan panas sehingga dapat mengganggu kesehatan pekerja pekerja (Chang, 2008; Fang; 2014; Hsu, 2008; Isaac, 2016).

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, di antara faktor penyebab kelelahan kerja baik karakteristik pekerja maupun pengaruh eksternal terdapat hubungan timbal balik satu sama lain. Hasil identifikasi berdasarkan indikator denyut jantung mengalami perubahan seiring dengan beban kerja, karakteristik pekerja dan lokasi tempat kerja. Kelelahan otot dapat diidentifikasi dengan perubahan denyut jantung. Elevasi lokasi pekerjaan dapat menurunkan kemampuan visual pekerja sementara paparan sinar matahari pada lokasi yang semakin tinggi dapat menyebabkan kebutuhan oksigen yang lebih banyak untuk menghindari dehidrasi, namun sangat tergantung pada postur tubuh, kegiatan yang dilakukan dan metabolisme tubuh masing-masing pekerja (Chang, 2008). Dengan pengukuran secara subyektif, faktor eksternal turut mempengaruhi hasil analisis kelelahan dimana diperoleh bahwa sistem *shift* kerja, paparan sinar matahari, elevasi dan beban kerja mempengaruhi hasil penilaian kelelahan pekerja (Irma, 2014; Chang, 2008; Oesman, 2011; Susetyo, 2012).

Prediksi Tingkat Kelelahan Kerja

Secara umum kelelahan terbagi menjadi dua macam yakni kelelahan pikiran (kelesuan pikiran untuk berfikir dan membuat keputusan) dan kelelahan otot/fisik (kelelahan otot maksimal akibat penggunaan secara berkepanjangan/

berlebihan). Kelelahan pikiran lebih kepada kelelahan secara umum yakni perasaan letih yang luar biasa dalam melakukan sebuah pekerjaan sedangkan kelelahan otot lebih kepada kelelahan secara fisik yang dirasakan oleh tubuh melalui reaksi terhadap beban yang diberikan. Dalam kajian ini, pembahasan hanya dilakukan pada kelelahan otot (fisik).

Selama ini, memprediksi kelelahan kerja dilakukan dengan mengukur beberapa indikator kelelahan saja, karena tidak adanya cara yang langsung dapat mengukur sumber penyebab kelelahan itu sendiri. Secara umum, sejumlah metode untuk mengukur kelelahan terbagi menjadi 6 kelompok yakni: kualitas dan kuantitas kinerja, perekaan terhadap kelelahan menurut impresi subyektif, *electroencephalography* (EEG), mengukur frekuensi subyektif kedipan mata, pengukuran psikomotorik dan pengujian mental. Bentuk pengukuran kelelahan pada pekerja dilakukan pada saat sebelum, selama dan sesudah melakukan aktivitas suatu pekerjaan dan sumber-sumber kelelahan pekerja dapat disimpulkan dari hasil pengujian tersebut (Cahyani, 2010; Javaid, 2013; Fang, 2014; Li, 2015; Lin, 2015; Maiti, 2008)

Memprediksi kelelahan kerja dengan pengukuran secara subyektif adalah memberikan daftar/ *checklist* terkait dengan kondisi tubuh pekerja dimana *checklist* ini terbagi menjadi tiga bagian yang berkaitan dengan pelemahan kegiatan, pelemahan motivasi dan gambaran kelelahan fisik akibat keadaan umum yang terjadi pada pekerja (Oesman, 2011; Limbong, 2015). Analisis kelelahan secara subyektif dilakukan dengan mengajukan pertanyaan mengenai gejala atau perasaan yang dirasakan oleh responden. Metode pengukuran kelelahan dengan menggunakan skala yang dikeluarkan oleh *International Fatigue Research Committee* (IFRC) atau disebut *Subjective Self Rating* (SSRT) dengan 30 pertanyaan. (Oesman,dkk., 2011) Melakukan analisis kelelahan secara subyektif cukup mengganggu kenyamanan pekerja konstruksi yang memiliki karakteristik mobilitas tinggi dikarenakan waktu kerja yang tersita untuk mengisi daftar *checklist* yang disodorkan. Dengan hasil ini, kita

tidak dapat mengamati perubahan tingkat kelelahan pekerja, sedangkan kelelahan adalah sebuah proses yang berubah seiring waktu kerja dan beban yang diberikan kepada pekerja.

Sementara itu untuk prediksi kelelahan secara obyektif didasarkan pada perubahan kondisi fisiologis akibat kelelahan kerja yang terjadi dengan mengukur perbedaan pada sistem pencernaan, sistem otot, sistem syaraf dan sistem pernafasan sebagai gejala-gejala yang mengindikasikan kelelahan pekerja. Salah satu cara yang dilakukan untuk mengalisa kelelahan fisiologis pekerja dengan menggunakan *reaction time* baik berupa rangsang suara maupun rangsang cahaya. (Limbong, 2015; Irma, 2014). Sementara itu bentuk pengukuran yang lain dapat dilakukan dengan menggunakan indikator kelelahan seperti perubahan denyut jantung, suhu badan, pernafasan, kemampuan visual serta kekuatan otot dalam kaitan dengan pembebanan yang diterima oleh tubuh dengan menggunakan metode *direct measurement* (EMG), *remote sensing measurement* dan *biomechanical models* (Chang, 2008; Wang, 2015; Fang, 2014; Hsu, 2008; Javaid, 2013; Li, 2015; Lin, 2015).

Pengukuran tingkat kelelahan pekerja secara obyektif yang selama ini dilakukan masih mengganggu aktivitas pekerja karena peralatan harus dilakukan dan proses yang harus dijalani sehingga identifikasi kelelahan masih dapat menjadi bias karena faktor ketidaknyamanan yang dirasakan pekerja. Namun dengan pengukuran secara obyektif dapat diperoleh hasil prediksi kelelahan yang lebih mendekati *real time*.

METODE

Tahap Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu yakni data hasil pengukuran terhadap kelelahan pekerja konstruksi baik secara obyektif maupun subyektif serta hasil observasi lapangan dan berdasarkan pada hasil *expert judgment* untuk kelengkapan data. Data yang ada digunakan untuk membangun model dasar dalam sistem dinamik.

Tahap Penyusunan dan Pengembangan Model

Tahap penyusunan dan pengembangan model menggunakan pendekatan sistem dinamik yang terbagi dalam beberapa tahapan (Suryani, 2011; Utami, 2006), yaitu:

- a. Identifikasi, definisi masalah dan konseptualisasi sistem

Tahap untuk mengetahui dimana pemodelan sistem perlu dilakukan, penetapan tujuan serta batasan permasalahan dari sistem yang akan dimodelkan. Konseptualisasi sistem diawali dengan identifikasi variabel yang terlibat dalam pemodelan. Variabel-variabel tersebut kemudian dicari interaksinya satu sama lain dengan menggunakan ragam kotak panah (*causatic diagram*).

- b. Formulasi model

Formulasi model dilakukan terhadap variabel-variabel yang saling berhubungan dalam diagram. Model diformulasikan dengan persamaan matematika untuk menggambarkan sistem sesuai kenyataan. Hasil *running model* akan menunjukkan verifikasi atas model yang disusun. *Software* yang dapat digunakan untuk pemecahan masalah sistem dinamik antara lain adalah *vensim*.

- c. Simulasi model

Simulasi model untuk memahami proses sistem, membuat analisis dan peramalan perilaku gejala atau proses tersebut dimasa depan. Skenariosasi merupakan uji coba pada model yang telah disusun dengan tujuan untuk melihat kinerja dari sistem terhadap perubahan yang ada. Terdapat dua jenis skenariosasi dalam model yakni skenario parameter dan skenario struktur. Skenario parameter adalah skenario yang dilakukan hanya pada parameter model. Sedangkan skenario struktur adalah perubahan yang dilakukan pada model awal (*base model*) dengan menambahkan atau mengurangi variabel.

Pembuatan model kausatik berdasarkan pada hasil kajian literatur yang telah diperoleh sehingga teridentifikasi variabel-variabel yang saling berkaitan dalam analisis kelelahan pekerja konstruksi. Untuk dapat memprediksi kelelahan pekerja maka

diidentifikasi model pengukuran kelelahan yang akan digunakan yaitu analisis prediksi berdasarkan hasil pengukuran subyektif dan obyektif, kemudian baru dilakukan *breakdown* variabel secara lebih detail. Selanjutnya diberikan formulasi model melalui persamaan-persamaan matematik dengan mengacu pada data yang tersedia.

Setelah *base model* tersusun maka dilakukan verifikasi dan validasi terhadap *output* model. Verifikasi terhadap model dilakukan untuk memastikan tidak terdapat kesalahan dalam formulasi model yang disusun. Sedangkan Validasi model dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dengan gejala atau proses yang ditirukan. Model prediksi kelelahan pekerja ini termasuk kategori model yang baru dikembangkan (*proposed model*) dan merupakan sistem yang belum memiliki *track record* data sehingga pengujian dilakukan dengan validasi struktur model.

Tahapan skenariosasi yang dilakukan pada base model adalah dengan 103cenario parameter yakni melihat pengaruh perubahan-perubahan dalam variabel kelelahan pekerja konstruksi terhadap tingkat kelelahan yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel-Variabel Dalam Kelelahan

Model prediksi kelelahan disusun berdasarkan faktor yang berhubungan dengan kelelahan pekerja yaitu kondisi fisik, kondisi psikis, karakteristik, kondisi lingkungan proyek serta sistem kerja proyek konstruksi. Analisis yang berkaitan dengan karakteristik pekerja adalah variabel umur, gaya hidup, tinggi badan, status gizi dan berat badan. Sedangkan kondisi fisik pekerja meliputi suhu tubuh, kelelahan otot, pernafasan, denyut nadi dan penglihatan. Kondisi psikis pekerja didasarkan pada penilaian subyektif sehingga diperoleh tiga variabel utama yaitu gambaran kelelahan secara fisik, pelemahan motivasi dan pelemahan kegiatan.

Faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi kelelahan pekerja adalah karakteristik proyek sehingga berkaitan dengan beban kerja, ketinggian lokasi pekerjaan (elevasi), kebisingan serta faktor cuaca dalam lingkungan proyek konstruksi yaitu tekanan angin, tekanan panas dan

suhu udara. Kelelahan pekerja juga dipengaruhi oleh sistem kerja yaitu pengaturan waktu kerja yang meliputi pemberlakuan sistem shift kerja, penambahan jam lembur, jumlah jam istirahat serta jumlah jam kerja yang diberlakukan pada proyek.

Karakteristik pekerja mempengaruhi kondisi fisik pekerja serta berhubungan dengan sistem kerja yang berlaku dalam proyek konstruksi. Variabel fisik dan karakteristik pekerja juga saling mempengaruhi dengan faktor lingkungan proyek sebagai unsur eksternal dalam kelelahan pekerja proyek. sistem kerja yang berlaku juga berkaitan dengan faktor eksternal proyek. Hasil identifikasi hubungan antar variabel secara lengkap digambarkan dalam diagram kausatik seperti Gambar 1.

Pengembangan Model

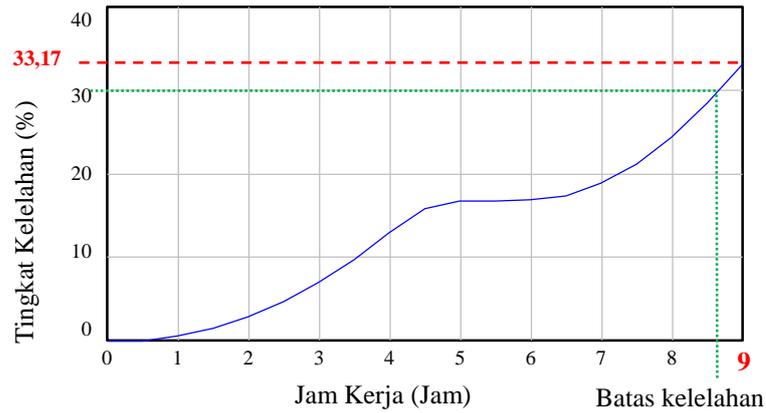
Berdasarkan Gambar 1, secara garis besar dapat diringkas bahwa variabel kelelahan terbagi dalam kategori internal pekerja (variabel fisik, karakteristik pekerja dan psikis) dan kategori eksternal (sistem kerja dan kondisi lingkungan proyek). Selanjutnya dilakukan formulasi terhadap model berdasarkan hubungan yang terbentuk pada diagram kausatik hingga tersusun diagram *flow* dari sistem dengan *breakdown* variabel yang ada sehingga dapat diberikan persamaan-persamaan matematis. Variabel internal pekerja diukur berdasarkan pada berat badan, status gizi, tinggi badan, gaya hidup, pernafasan, penglihatan dan suhu tubuh pekerja.

Sedangkan variabel eksternal diukur berdasarkan pada sistem kerja, jam kerja, beban kerja, elevasi tempat kerja, tekanan angin dan suhu lingkungan proyek. Sementara itu, secara umum kerja mental mengeluarkan energi relatif kecil dibandingkan dengan kerja fisik karena pada kerja fisik, manusia menghasilkan perubahan dalam konsumsi oksigen, denyut nadi, temperatur tubuh dan perubahan senyawa kimia dalam tubuh. Selain itu, sistem penilaian kondisi psikis menggunakan penilaian subyektif terhadap pekerja konstruksi. Untuk itu dalam formulasi model hanya dilakukan kajian terhadap variabel-variabel diluar faktor psikis.

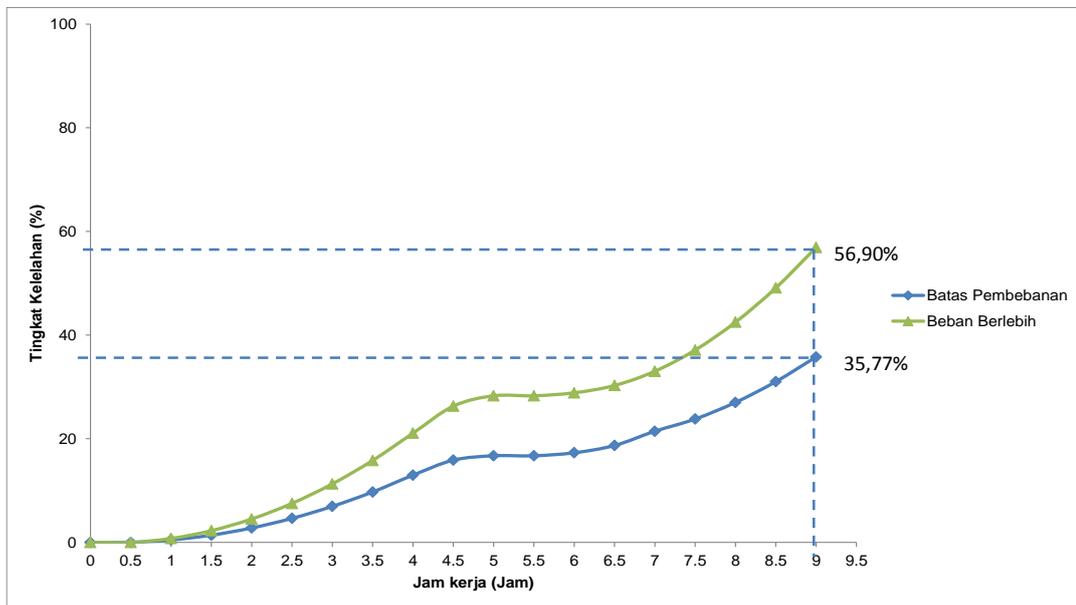
Base model disusun menjadi dasar bagi simulasi model untuk melihat pengaruh dari nilai variabel terhadap sistem sesuai dengan kajian-kajian yang pernah dilakukan sebelumnya dan hasil *expert judgment* sehingga didapatkan formulasi model yang dapat mewakili kondisi nyata model yang disusun. Tingkat kelelahan pada model dasar diagram flow, diprediksi berdasarkan pada klasifikasi nilai beban kardiovaskuler/ *cardiovascular load* (%CVL) seperti dalam tabel 1. Hasil *stock flow diagram* secara lengkap dalam Gambar 2.

Tabel 1. Klasifikasi % CVL

% CVL	Klasifikasi %CVL
<30%	Tidak terjadi kelelahan
30% - 60%	Diperlukan perbaikan
60% - 80%	Kerja dalam waktu singkat
80% - 100%	Diperlukan tindakan segera
> 100%	Tidak diperbolehkan beraktivitas



Gambar 3. Prediksi Kelelahan Pekerja Pada Kondisi Normal (*Base Model*)



Gambar 4. Validasi Model Berdasarkan Pembebanan

Tahapan selanjutnya dalam analisis adalah *running output model* sebagai verifikasi model yang berarti bahwa dalam model yang disusun sudah tidak terdapat kesalahan dalam formulasi model seperti pada Gambar 2.

Berdasarkan nilai beban kardiovaskuler (% CVL) dalam Tabel 1 dan hasil *output* model pada Gambar 2 diperoleh bahwa kondisi normal jika nilai %CVL < 30% maka pekerja berada pada kondisi tidak mengalami kelelahan selama jam kerja berlangsung. Hasil prediksi kelelahan pekerja pada *base model* seperti pada Gambar 4. Tingkat kelelahan pekerja dinyatakan dalam persentase berdasarkan nilai %CVL dengan jumlah total jam kerja dalam sehari termasuk jam istirahat diasumsikan selama 9 jam mulai pukul

08.00–17.00 dengan jam istirahat selama 1 jam pada pukul 12.00–13.00.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa pekerja mengalami kelelahan pada akhir jam kerja yakni setelah bekerja lebih dari 8 jam berdasarkan %CVL > 30% dan setelah 9 jam ditempat kerja menunjukkan tingkat kelelahan berdasarkan %CVL sebesar 33,17% sehingga berada pada batas normal berupa kelelahan ringan setelah satu hari bekerja. Hasil ini diperoleh dengan memberikan perlakuan secara normal pada seluruh variabel penyebab kelelahan. Kemudian dilakukan validasi model secara struktur dengan melihat pengaruh variabel terkait terhadap perubahan tingkat kelelahan yang terjadi misalnya pada beban kerja.

Beban kerja seharusnya tidak melebihi 30-40% kemampuan maksimum pekerja

yang bekerja selama 8 jam sehari dengan melihat perubahan denyut nadi kerja terhadap denyut nadi sebelum kerja. Sesuai dengan Peraturan Permenakertranskop No.1 Tahun 1978 disebutkan bahwa batas beban kerja adalah 40 kg untuk satu kali pengangkatan sehingga pada beban batas ini yang digunakan untuk validasi model. Gambar 4 menunjukkan bahwa pengaruh beban kerja memberikan perubahan tingkat kelelahan sebanyak 37% (30-40%) sehingga masih memenuhi peraturan yang ditetapkan pada kondisi batas pembebanan.

Kemudian dibuat skenario untuk melihat pengaruh perubahan variabel-variabel terhadap tingkat kelelahan yang dialami pekerja konstruksi. Skenario parameter dipilih karena model yang disusun termasuk dalam *proposed model* sehingga belum memiliki *track record* data yang cukup. Simulasi dilakukan berdasarkan pada beberapa kondisi, yakni perubahan pada variabel internal (berat badan, status gizi, tinggi badan, gaya hidup, pernafasan, penglihatan, dan suhu tubuh pekerja) dan perubahan pada variabel internal dan eksternal (jam kerja, beban kerja, elevasi tempat kerja, tekanan angin, dan suhu lingkungan) terjadi secara bersama-sama. Perubahan dan perbandingan tingkat kelelahan seperti tercantum pada Gambar 5.

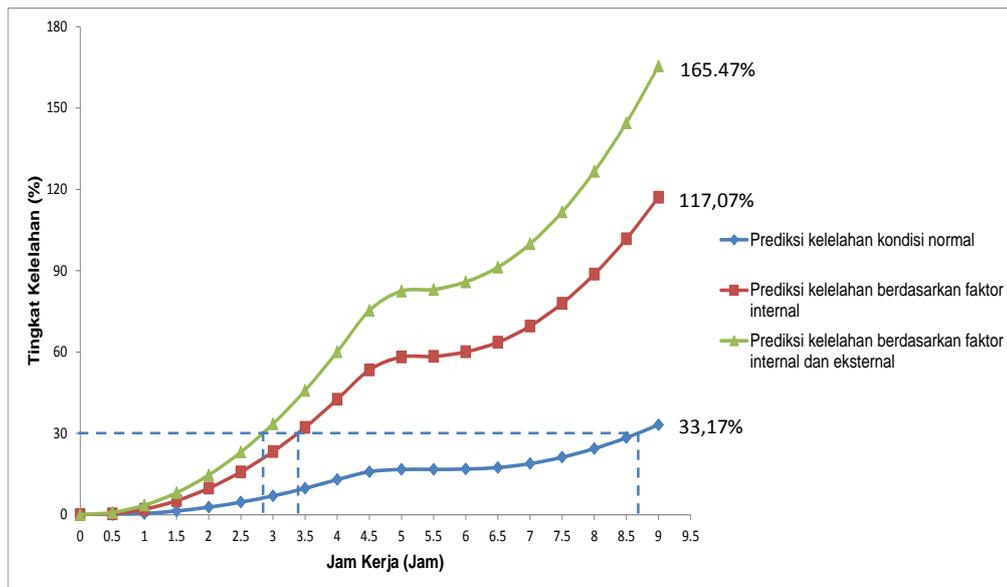
Sesuai Gambar 5 dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan kelelahan akibat simulasi terhadap nilai variabel internal pekerja dibandingkan kondisi normal, dimana peningkatan yang terjadi sekitar 2,5 kali lipat. Sementara itu ketika simulasi dilakukan dengan merubah nilai variabel eksternal pekerja sehingga variabel internal dan eksternal memberi pengaruh sekaligus

maka terjadi penambahan tingkat kelelahan sekitar 0,5 kali lagi. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan variabel internal pekerja memberikan pengaruh pada tingkat kelelahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel eksternal pekerja konstruksi. Berdasarkan hasil skenariosasi terhadap prediksi tingkat kelelahan dapat ditunjukkan bahwa semakin kompleks variabel yang berpengaruh dalam analisis kelelahan pekerja maka diperoleh peningkatan yang signifikan terhadap tingkat kelelahan pekerja konstruksi.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil simulasi model menunjukkan hubungan antar komponen dalam sistem melalui diagram kausatik telah terverifikasi dan tervalidasi secara struktur terhadap pembebanan yang dilakukan dengan hasil perbedaan tingkat kelelahan sebesar 37% (dalam batas 30-40%) sehingga model dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kelelahan pekerja melalui formulasi yang dirumuskan. Skenariosasi pada model menunjukkan bahwa semakin kompleks variabel yang berpengaruh dalam sistem maka diperoleh perubahan yang signifikan terhadap tingkat kelelahan pekerja konstruksi.

Kajian untuk penelitian ini masih merupakan model dasar yang akan dikembangkan secara lebih mendalam mengenai perubahan pada variabel-variabel yang ada sehingga model yang dibentuk semakin mendekati kondisi nyata. Pengumpulan *track record* data dalam pengembangan sistem akan memudahkan perbaikan sistem ke depan.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Prediksi Tingkat Kelelahan Pekerja Konstruksi

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyani, W.D. 2010. Hubungan Antara Beban Kerja Dengan Kelelahan Kerja Pada Pekerja Buruh Angkut. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* 19 (2). Universitas Pekalongan.
- Chang, F.L., et al. 2008. Work Fatigue and Physiological Symptoms in Different Occupations of High Elevation Construction Workers. *Applied Ergonomics*
- Fadel, M. dkk. 2014. *Faktor Yang Berhubungan Dengan Kelelahan Kerja Pengemudi Pengangkutan BBM di TBBM PT. Pertamina Pare Pare*. <http://repository.unhas.ac.id>
- Fang, D.P., Jiang, Z.M., Zhang, M.Z., Wang, H. 2015. An Experimental Method To Study The Effect Of Fatigue On Construction Workers Safety Performance. *Safety Science* 73. p.80-91
- Fang, Y.-C., Dzeng, R.-J. 2014. A Smartphone Based Detection Of Fall Portents For Construction Workers. *Procedia Engineering* 85. p.147-156
- Goh, Y.M., Sa'adon, N.F.B. 2015. Cognitive Factors Influencing Safety Behavior At Height: A Multimethod Exploratory Study. *Journal Construction Engineering Management* 141 (16).
- Hallowell, M.R. 2010. Worker Fatigue Managing Concerns In Rapid Renewal Highway Construction Projects. *Professional Safety*. www.asse.org
- Hsu, D.J, Sun, Y.M, Chuang, K.H, Juang, Y. J, Chang, F.L. 2008. Effect Of Elevation Change On Work Fatigue And Physiological Symptoms For High Rise Building Construction Workers. *Safety Science* 46, p.833-843.
- Irma, dkk. 2014. *Faktor Yang Berhubungan Dengan Kelelahan Kerja Pada Unit Produksi Paving Block CV Sumber Galian Kecamatan Biringkanaya Kota Makasar*, <http://repository.unhas.ac.id>
- Isaac, S. dan Edrei, T. 2016. A Statistical Model For Dynamic Safety Risk Control On Construction Sites. *Automation In Construction* 63, p.66-78
- Javaid., et al. 2013. *Measuring Fatigue of Soldier in Wireless Body Area Sensor Networks*. arXiv: 1307.7242v1
- Li, H., Chan, G., Huang, T., Skitmore, M., Tao, T.Y.E, Chung, J., Chan,X.S, Li,Y.F. 2015. Chrip Spread Spectrum Based Real Time Location System For Construction Safety Management: A Case Study. *Automation In Construction* 55, p.58-65
- Limbong, N.Y., dkk. 2015. *Gambaran pengukuran Kelelahan Kerja Dengan Metode Objectif dan Subjectif Pada Renaga Kerja Di PT. Sastramas Estetika Megamas Kota Manado*. fkm.unsrat.ac.id

- Lin, Y.H., et al. 2015. Psychological Workload and Musculoskeletal Fatigue Among Construction Workers Involving Squatting/ Kneeling Task in Taiwan. *Proceeding 19th Triennial Congress of IEA*. Melbourne.
- Maiti, R. 2008. Workload Assessment in Building Construction Related Activities in India. *Applied Ergonomic* 39, p.754-765.
- Manurung, I.K. 2013. Penentuan Batas Angkut Yang Aman Bagi Pekerja Bongkar Muat Manual Dengan Menggunakan Pendekatan Fisiologis dan NIOSH Lifting Index Pada PT. Pelindo II Pontianak. *Jurnal TIN Jurusan Teknik Industri Universitas Tanjungpura* 1 (2).
- O'Neill, C. dan Panuwatwanich, K. 2013. The Impact of Fatigue On Labour Productivity: Case Study of Dam construction Project in Queensland. *Proceedings of the 4th Conference on Engineering Project and Production Management*.
- Oesman, T.I., Simanjuntak, R.A. 2011. Hubungan Antara Faktor Internal dan Eksternal Terhadap Kelelahan Kerja Melalui Subyektif Self Rating Test. *Proceeding 11th National Conference of Indonesian Ergonomics Society*.
- Purnomo, A. 2014. *Pengaruh Waktu Kerja Lembur dan Jenis Tugas Terhadap Tingkat Kelelahan Pekerja Proyek Pembangunan Gedung Telkomsel Di Kota Medan Tahun 2013*. Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara Medan
- Susetyo, J., dkk. 2012. Pengaruh Shift Kerja Terhadap Kelelahan Karyawan Dengan Metode Bourdon Wiersma dan 30 Items of Rating Scale. *Jurnal Teknologi Jurusan Teknik Industri Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta*.
- Suryani, E., dkk. 2011. Sistem Profit Perbankan BUMN Indonesia (Studi Kasus: Bank Mandiri 2006). *JUTI* 9 (2)
- Utami, R. 2006. *Simulasi Dinamika Sistem Ketersediaan Ubi kayu*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Wang, D, Dai, F., Ning, X.P. 2015. Risk Assessment Of Work Related Musculoskeletal Disorders In Construction: State Of The Art Review. *Journal Construction Engineering Management* 141 (6).
- Wirahadikusumah, R.D. 2014. *Tantangan Masalah Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada Proyek Konstruksi Di Indonesia*. Kuliah Tamu Universitas Brawijaya. www.lecture.ub.ac.id.