

Model Pelacakan Area Perhatian Manusia pada Pekerjaan Perakitan Berbasis *Self-Optimizing System*

Novie Susanto

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H Soedharto, S.H., Tembalang Semarang 50275
Telepon/Fax: +62 24 7460052
Email: nophie.susanto@gmail.com

Received 1 June 2015; Accepted 2 September 2015

Abstract

This research aims at investigating the area of interest (AOI) of the human operator when conducting automated robotic assembly task. A technical system, so called control cognitive unit (CCU), is applied into this empirical study to represent human cognition system and based on the prior knowledge, to adapt into condition changing of product structure and material supply. To improve the compatibility between human expectation and the technical system, this empirical study is designed and focused on different model of robot behaviour based on number of human-oriented production rule that applied in the models. Participants are expected to recognize the robot's work pattern regarding assembly sequences using LEGO brick and carburetor and then to predict the position of the next brick or carburetor part. The result of ANOVA test of assembly task using LEGO brick finds significant differences on the fixation duration for the interaction between the model of robot behaviour and the assembly group as well as between the assembly group and AOI. Assembly with carburetor shows a significant difference for interaction between the model of robot behaviour and AOI. Furthermore, the fixation duration of the participants during the assembly processes using the most-human oriented model lead to the shortest fixation duration.

Keyword: cognitive ergonomic, area of interest, assembling, human-oriented model, human-robot interaction

1. PENDAHULUAN

Sistem kerja berbasis otomasi telah berkembang pesat dalam desain sistem produksi. Utilisasi robot terartikulasi dalam sistem produksi berbasis otomasi telah banyak digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan aspek produktivitas dan keselamatan kerja. Sistem kerja konvensional selama ini lebih banyak terfokus pada pengembangan teknologi tanpa mempertimbangkan peranan manusia atau operator dalam sistem produksi. Definisi otomasi secara lebih mendalam oleh OED (2010) juga mendefinisikan otomasi sebagai “sistem kontrol otomatis pada produksi sebuah produk..., secara lebih luas, penggunaan elektronik atau peralatan mekanika untuk menggantikan manusia pekerja”. Definisi ini secara jelas menggantikan fungsi manusia pekerja dengan sistem otomasi, Namun demikian, ada beberapa latar belakang yang harus dipertimbangkan sebelum sebuah sistem kerja mengaplikasikan jenis otomasi seperti ini.

Instalasi robot pada sebuah sistem produksi memerlukan usaha besar dan biaya investasi tinggi untuk mendesain, mengembangkan, mengoperasikan dan mempertahankan sistem yang kompleks ini. Oleh karena itu, jenis sistem kerja seperti ini sudah seharusnya

mempertimbangkan peranan manusia pekerja terutama yang berketrampilan tinggi untuk bekerja dalam sistem ini. Kerjasama antara manusia dan robot dapat didesain secara efektif bila terdapat kesesuaian antara kognisi manusia dan sistem tekniknya. Semakin tinggi level otomasi, maka sistem akan semakin kompleks karena memerlukan pengembangan pengetahuan, ketrampilan dan kemampuan manusia. Dalam hal ini, peranan operator manusia dalam sistem otomasi level tinggi sangat penting dan diperlukan untuk melakukan berbagai tugas supervisi dan kontrol atau melakukan intervensi bila terjadi kesalahan (Mayer *et al.*, 2012). Sistem manufaktur di masa mendatang harus berfokus pada integrasi manusia operator dalam sistem produksi berbasis otomasi terutama jika mempertimbangkan kemampuan manusia dalam segi perencanaan, pemecahan masalah dan pembuat keputusan (Schlick *et al.*, 2002).

Selain dari definisi otomasi yang menghilangkan aspek manusia dalam sistem kerja berbasis otomasi, latar belakang kedua yang harus diperhatikan dalam desain sistem produksi terotomasi adalah fenomena “ironi otomasi” (Brainbridge, 1983). Sebuah sistem produksi

biasanya didesain untuk mengotomatiskan fungsi manusia operator yang tidak sesuai standar dikarenakan tingkat keandalan manusia yang rendah. Situasi inilah yang akan mengakibatkan lingkaran setan yang dikenal dengan istilah ironi otomasi. Dalam lingkaran ini, fungsi manusia yang diotomatiskan akan menyebabkan meningkatnya kompleksitas fungsi sistem sehingga memacu meningkatnya permintaan perencanaan, pengajaran dan pemantauan. Situasi ini akan memacu timbulnya sistem yang lebih rentan terhadap kesalahan. Untuk mengurangi jumlah kesalahan, aplikasi otomasi lebih lanjut didesain dan seterusnya akan mengacu ke kondisi lingkaran setan tersebut. Pada siklus pertama, performansi sistem secara keseluruhan memang mungkin terlihat meningkat, namun potensi resiko yang ada seringkali tidak dipertimbangkan. Penambahan siklus otomasi ke level berikutnya biasanya akan menurunkan performansi sistem. Oleh karena itu, manusia pekerja dalam sistem kerja berbasis otomasi sudah seharusnya dipertimbangkan sebagai bagian yang terintegrasi dalam otomasi. Interaksi antara manusia dan sistem otomasi (dalam hal ini robot) dalam sistem kerja berbasis otomasi dapat didesain sebagai suatu solusi untuk mengembangkan sistem kerja yang menyeimbangkan antara kemampuan manusia dan robot. Sistem ini dikenal dengan nama *joint cognitive system* (Hollnagel & Wood, 1999). Sistem ini mengintegrasikan fungsi teknis dan ketrampilan manusia dalam sebuah sistem kerja. Integrasi ini diperlukan untuk mendesain dan membangun interaksi manusia robot yang aman, efektif, efisien dan ergonomis (Schlick *et al.*, 2009).

Onken dan Schulte (2010) menjelaskan bahwa bila sebuah sistem didesain berdasarkan interaksi manusia dan mesin yang ergonomis, maka operator akan lebih mudah mengevaluasi situasi yang ada dan status sistem pada saat tersebut. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat memecahkan lingkaran setan yang disebabkan oleh otomasi. Dalam *joint cognitive system*, manusia juga dapat berperan sebagai operator sekaligus sebagai supervisor sistem. Manusia diharapkan dapat membuat keputusan secara efektif, bekerja sebagai tim dan bertindak secara berkelanjutan, terutama dalam situasi kritis terkait keselamatan dan kualitas sistem. Pendekatan ini juga mengatur kombinasi antara kemampuan otomasi robot secara luas seperti kepresisian, kontrol dan kemampuan reproduksi dan kemampuan manusia untuk mengembangkan kemampuan, ketrampilan dan pengetahuannya secara terus-menerus. Interaksi manusia robot yang ergonomis akan menghasilkan pilihan yang paling menguntungkan untuk menjaga produktivitas dan meningkatkan fleksibilitas sambil mengoptimisasi dan beradaptasi terhadap proses terkait.

Desain ergonomis pada interaksi manusia robot dalam studi ini mengadopsi pola kognitif manusia sebagai struktur kontrol kognitif berlevel tinggi. Kognitif manusia digunakan untuk merepresentasikan desain sistem berorientasi manusia. Kontrol kognitif merupakan poin kritis dalam sistem kerja seperti ini karena sebagian

besar performansi sistem bergantung pada kognisi manusia. Oleh karena itu sistem kognitif manusia akan digunakan sebagai dasar perencanaan dan sistem kontrol pada desain interaksi manusia robot.

Sistem teknik yang digunakan dalam studi ini mengimplementasikan desain *cognitive control unit* (CCU) (Mayer *et al.*, 2009; Buescher *et al.*, 2012). Desain CCU dikembangkan berdasarkan arsitektur kognitif SOAR untuk merepresentasikan pemrograman pada level bawah dan meningkatkan kesesuaian antara model mental manusia dan basis pengetahuan pada robot (sebagai sistem teknik). CCU bertugas sebagai pelaksana pekerjaan yang tidak memberikan nilai tambah. Kemampuan CCU tersebut didapatkan dari proses adopsi kemampuan pekerja dengan tingkat kepakaran tinggi yang ditransfer ke dalam perilaku robot. Pendekatan ini akan mengurangi beban operator manusia dalam melaksanakan tugas yang bersifat repetitif, mudah atau berbahaya. CCU juga memungkinkan berlangsungnya sistem kontrol kognitif pada level *rule-based* (berdasarkan klasifikasi Rasmussen (1983)). Proses perencanaan dan reaksi secara efektif terhadap perubahan lingkungan kerja juga dapat dilakukan pada sistem teknik ini dengan pemberlakuan *self-developed set* pada peraturan produksi dalam basis pengetahuannya. Hal ini berarti perilaku manusia pada level *rule-based* dapat disimulasikan dalam sebuah *self-optimizing system* (Mayer *et al.*, 2011).

Sebuah desain yang spesifik dikembangkan dalam studi ini untuk merepresentasikan bagian dari sistem produksi. Pekerjaan perakitan dipilih dalam studi ini karena pekerjaan ini dapat merepresentasikan konsep kontrol kognitif dalam desain *joint cognitive system* yang fleksibel dan antisipatif. Pekerjaan perakitan juga mendukung desain kerjasama berorientasi tujuan dengan mempertimbangkan kesesuaian antara sistem teknis dan manusia pada semua level kontrol kognitif berdasar Rasmussen (1983). Desain studi dalam penelitian berfokus pada pengembangan model prediksi interaksi manusia dan robot yang memungkinkan sistem kontrol kognitif dioperasikan secara efektif, efisien dan aman oleh operator berketrampilan tinggi.

Tahap pertama pengembangan model prediksi dilakukan dengan mendefinisikan gerakan manusia ketika melakukan pekerjaan perakitan seperti dijelaskan oleh Mayer dan Schlick (2012). Sebuah deskriptor gerakan pada sistem tangan-lengan manusia dengan sistem MTM-1 dipilih untuk mendefinisikan gerakan yang repetitive dan lazim digunakan oleh manusia selama proses perakitan manual. Pada saat yang sama, pekerjaan supervisi manusia selama proses perakitan harus diperhatikan. Operator melakukan pemantauan aktivitas dalam sistem secara berkelanjutan dan membandingkannya dengan model mentalnya. Model mental manusia membentuk ekspektasi tindakan selanjutnya dan membandingkannya dengan status sistem saat itu. Bila hasil ekspektasi dan observasi, maka level stress pada manusia akan lebih rendah dan tingkat

kesesuaian manusia dengan sistem teknis akan meningkat. Integrasi peraturan produksi berbasis kognitif manusia ke dalam basis pengetahuan CCU diharapkan dapat memberikan antisipasi yang lebih baik terhadap urutan perakitan yang dilakukan oleh robot sehingga meningkatkan kesesuaian model mental manusia dan CCU serta meningkatkan keselamatan kerja (Mayer & Schlick, 2012).

Secara lebih detail, sebuah studi empiris yang dilakukan oleh Mayer (2012) menjelaskan adaptasi strategi manusia ke dalam peraturan produksi pada proses perakitan menggunakan robot. Model prediksi dikembangkan untuk pekerjaan perakitan menggunakan brik LEGO. Mayer (2012) meneliti perilaku robot yang didesain berdasarkan jumlah peraturan produksi yang digunakan. Hasil studi Mayer (2012) menjadi dasar pengembangan studi empiris dalam penelitian ini.

Studi empiris dalam penelitian ini terfokus pada level kesesuaian mental manusia dengan sistem teknis berdasarkan pelacakan area ketertarikan (*area of interest*) operator pada saat melakukan aktivitas perakitan. Penilaian detail terhadap bagaimana model perilaku robot dan jenis produk yang dirakit mempengaruhi area ketertarikan manusia akan dibahas dalam penelitian ini. Secara lebih detail, studi ini bertujuan untuk mendesain model perilaku robot berdasarkan peraturan produksi yang dikembangkan dari sistem kognitif manusia. Model yang didesain tersebut akan diaplikasikan dalam dua

produk berbeda yaitu brik LEGO dan karburator sebagai produk manufaktur. Studi ini diharapkan dapat meningkatkan kesesuaian antara perilaku sistem dan ekspektasi manusia.

2. METODOLOGI

2.1 Peralatan dan Partisipan

Peralatan yang digunakan dalam studi empiris ini adalah layar monitor TFT 28" untuk menggambarkan urutan proses perakitan. Area perakitan terletak di depan partisipan, sedangkan produk contoh hasil perakitan diletakkan di depan kiri area perakitan. Bagian produk yang digunakan untuk aktivitas perakitan diletakkan di depan kanan area perakitan. Gambar 1 menggambarkan lingkungan studi.

Sistem pelacak mata yang digunakan untuk mendapatkan data area ketertarikan (*area of interest/AOI*) manusia akan merekam pergerakan pupil mata ketika melakukan aktivitas perakitan. Sistem ini menggunakan unit yang diletakkan di kepala dan terdiri dari *EyeCam* untuk merekam gerakan mata ke dalam bentuk video hitam putih dengan kualitas tinggi dan *FieldCam* untuk merekam daerah pandang mata ke dalam video berwarna berkualitas tinggi. Bentuk sistem pelacak mata yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Lingkungan studi perakitan menggunakan (a) brik LEGO (b) karburator



Gambar 2. Sistem pelacak mata yang digunakan dalam studi empiris (sumber: Dikablis Manual V0 1)

Jumlah total partisipan penelitian ini adalah 13 orang berusia 28.5 ± 4.7 tahun. Tingkat pendidikan partisipan minimal SMU/ sederajat. Level kemahiran rata-rata dalam aktivitas perakitan adalah 2,4 (menengah).

2.2 Variabel Penelitian

Variabel independen dalam penelitian ini adalah model perilaku robot, grup produk perakitan dan area ketertarikan/AOI.

(1) Model perilaku robot

Model perilaku robot akan ditentukan berdasarkan jumlah strategi perakitan yang diaplikasikan pada sistem teknik. Terdapat tiga strategi yang dikembangkan oleh Mayer (2010) dan dua di antaranya (prinsip bertetangga dan desain per lapis) akan digunakan sebagai aturan produksi pada penelitian ini. Strategi sudut kiri sebagai posisi pertama brik tidak diterapkan dalam penelitian ini karena strategi ini tidak sesuai dengan produk manufaktur (karburator) yang digunakan dan hanya dapat diterapkan pada produk dari brik LEGO.

(2) Grup produk perakitan

Terdapat 2 produk yang digunakan pada penelitian ini yaitu brik LEGO dan karburator. Untuk setiap produk akan didesain masing-masing 2 status interim produk sebagai posisi akhir perakitan dan menilai hasil prediksi yang dilakukan oleh partisipan. Contoh produk akhir dan status interim dapat dilihat pada Gambar 3.

(3) Area ketertarikan/AOI

Terdapat 4 area ketertarikan dalam penelitian ini yaitu AOI 1 (layar monitor), AOI 2 (area bagian produk), AOI 3 (area perakitan) dan AOI 4 (produk contoh hasil akhir perakitan). Gambar 4 menunjukkan AOI untuk masing-masing area ketertarikan.

Variabel dependen pada penelitian ini adalah durasi fiksasi untuk setiap AOI selama partisipan melakukan aktivitas perakitan. Hipotesis H_0 yang diformulasikan untuk penelitian ini adalah model perilaku robot (H_{01}), grup produk perakitan (H_{02}) dan area ketertarikan (H_{03}) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap durasi fiksasi. H_1 diformulasikan bahwa model perilaku robot (H_{01}), grup produk perakitan (H_{02}) dan area ketertarikan (H_{03}) berpengaruh secara signifikan terhadap durasi fiksasi

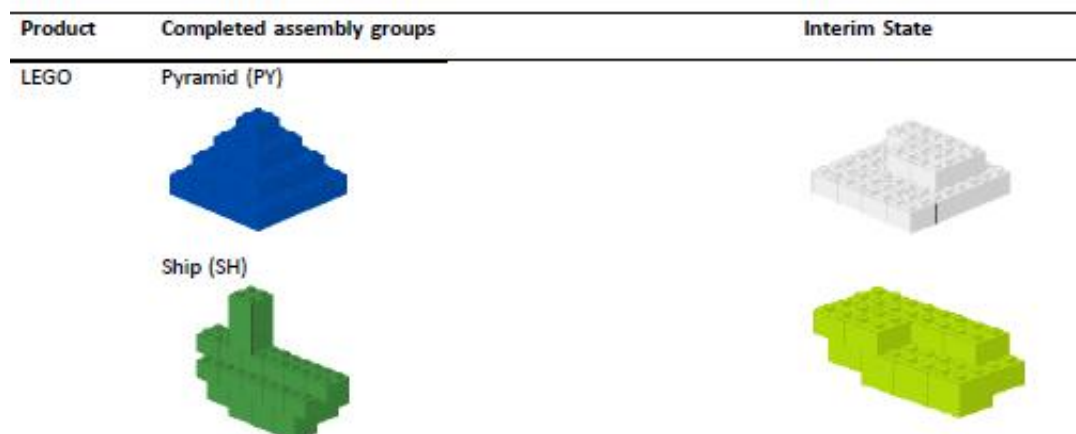
Normalitas data diuji dengan uji Kolmogorov-Smirnov, sedangkan homogenitas variansi dilakukan dengan uji Levene (Field, 2005). Uji univariate ANOVA (3-way ANOVA) dengan full factorial dan model tetap dilakukan untuk menguji hipotesa tersebut dengan level signifikansi $\alpha=0,05$. Uji statistik dilakukan dengan menggunakan program IBM SPSS Statistics 22.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terbagi dalam tiga fase yaitu:

- (1) Pengumpulan data pribadi partisipan secara anonim meliputi usia, level kemampuan merakit dan sebagainya. Setelah data terisi, partisipan dikenalkan dengan peralatan dan lingkungan penelitian.
- (2) Kalibrasi sistem pelacak mata
Pada fase ini, unit pelacak mata dipasang di kepala partisipan kemudian program *Dikablis recorder* diaktifkan untuk mulai proses inisiasi pendeteksian mata. Tahap selanjutnya adalah kalibrasi optik berdasarkan standar area. Setelah sistem pelacak mata terkalibrasi dengan baik, fase pengumpulan data dapat dilakukan.
- (3) Pengumpulan data
Pada tahap ini, partisipan diperlihatkan serangkaian urutan proses perakitan yang dilakukan oleh robot secara virtual. Partisipan diharapkan dapat mengingat urutan perakitan dan memahami pola kerja robot untuk dapat menentukan perilaku robot saat merakit. Setelah itu partisipan harus memprediksi letak brik LEGO atau bagian produk karburator berikutnya serta merakitnya ke produk secara langsung.

Ada 12 prediksi yang harus dilakukan oleh partisipan yang terbagi dalam 2 sesi. Setiap sesi terdiri dari 6 pekerjaan prediksi dengan urutan acak variabel independen.



Gambar 3. Status interim dan produk jadi hasil perakitan menggunakan brik LEGO



Gambar 4. Area ketertarikan dalam penelitian ini

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Statistik

Hasil uji kenormalan menunjukkan bahwa data durasi fiksasi yang didapatkan terdistribusi normal ($p = 0,221$ untuk produk LEGO dan $p = 0,157$ untuk karburator). Uji homogenitas variansi juga tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($p = 0,913$ untuk produk LEGO dan $p = 0,201$ untuk karburator). Oleh karena itu uji ANOVA dapat dilakukan untuk menginvestigasi perbedaan durasi fiksasi berdasarkan variabel independennya.

Berdasarkan hasil uji ANOVA, durasi fiksasi untuk produk perakitan menggunakan brik LEGO menunjukkan perbedaan signifikan untuk variabel model perilaku robot, grup produk perakitan dan AOI ($p \leq 0,001$). Selain itu, perbedaan signifikan juga didapatkan pada interaksi antara model perilaku robot dan grup produk perakitan ($p = 0,003$) dan antara grup produk perakitan dan AOI ($p = 0,018$). Oleh karena itu, uji Post Hoc dilakukan hanya untuk interaksi terkait. Berdasarkan fakta ini, maka hipotesa H_{01} , H_{02} dan H_{03}

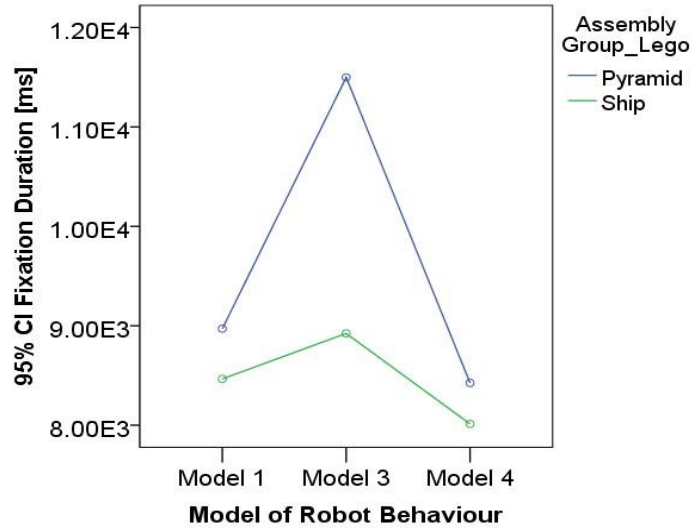
untuk perakitan menggunakan brik LEGO tidak ditolak.

Hasil uji Post Hoc menggunakan Bonferroni untuk interaksi model perilaku robot dan grup produk perakitan dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan plot interaksinya dapat dilihat pada Gambar 5. Interaksi antara grup produk perakitan dan AOI menghasilkan perbedaan signifikan untuk semua perbandingan berpasangan. Plot interaksi untuk interaksi ini dapat dilihat pada Gambar 6.

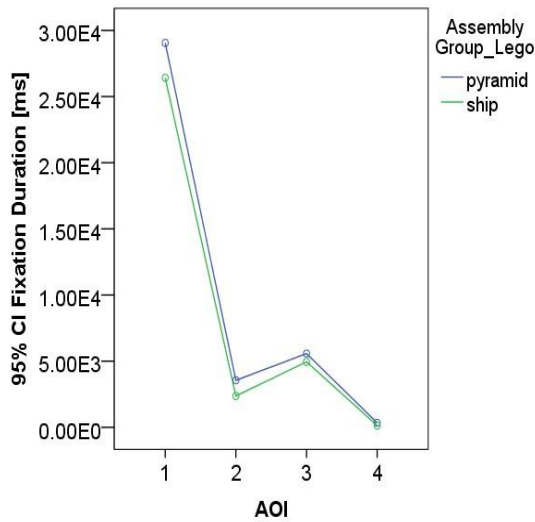
Hasil uji ANOVA untuk perakitan menggunakan karburator menunjukkan perbedaan signifikan untuk variabel model perilaku robot dan AOI ($p \leq 0,001$), namun interaksi antar variabel independen juga terdeteksi dalam hasil uji statistik ini. Interaksi antara model perilaku robot dan AOI menunjukkan perbedaan signifikan ($p = 0,029$). Dengan demikian, hipotesa H_{01} , H_{02} dan H_{03} untuk perakitan menggunakan karburator tidak ditolak. Hasil uji Post-Hoc untuk interaksi model perilaku robot dan AOI dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 7.

Tabel 1. Hasil uji post-hoc untuk interaksi model perilaku robot dan grup produk perakitan menggunakan brik LEGO

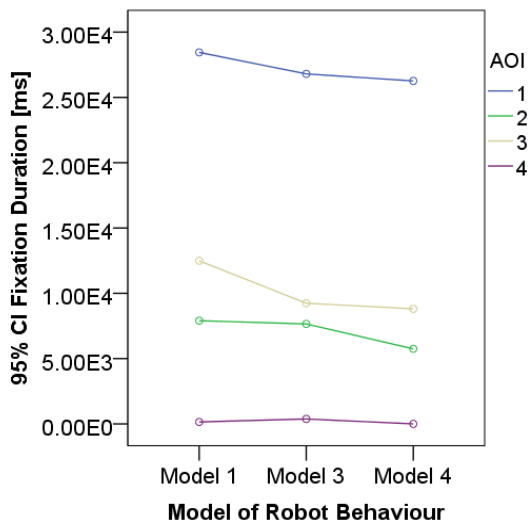
		Model1	Model3	Model 4
Pyramid	Model1		.000*	.275
	Model3	.000*		.000*
	Model4	.275	.000*	
Ship	Model1		.360	.365
	Model3	.360		.069
	Model4	.365	.069	



Gambar 5. Plot interaksi model perilaku robot dan grup produk perakitan menggunakan briK LEGO



Gambar 6. Plot interaksi grup produk perakitan dan AOI menggunakan briK LEGO



Gambar 7. Plot interaksi model perilaku robot dan AOI menggunakan karburator

Tabel 2. Hasil uji post-hoc untuk interaksi model perilaku robot dan AOI menggunakan karburator

		Model1	Model3	Model4
AOI 1	Model1		.055	.010*
	Model3	.055		.529
	Model4	.010*	.529	
AOI 2	Model1		.770	.011*
	Model3	.770		.025*
	Model4	.011*	.025*	
AOI 3	Model1		.000*	.000*
	Model3	.000*		.613
	Model4	.000*	.613	
AOI 4	Model1		.783	.863
	Model3	.783		.654
	Model4	.863	.654	

3.2 Pembahasan

Hasil analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada durasi fiksasi untuk interaksi model perilaku robot dan grup produk perakitan dan interaksi antara grup produk perakitan dan AOI pada perakitan menggunakan briK LEGO. Hasil analisis post-hoc antara model dan grup perakitan menunjukkan perbedaan signifikan untuk bentuk piramid, yaitu antara Model 1 dan Model 3 serta antara Model 3 dan Model 4. Durasi fiksasi partisipan selama simulasi perakitan dengan menggunakan Model 4 mengindikasikan durasi fiksasi yang paling singkat (rata-rata = 8.424,788 ms, SD = 11.332,006 ms untuk piramid; rata-rata = 8.012,500 ms, SD = 10.739,965 ms untuk kapal).

Berdasarkan indikasi ini, peraturan produksi yang diadopsi pada Model 4 dapat diterima oleh partisipan sebagai strategi perakitan yang mudah dipahami dan dipelajari. Hal ini mendorong durasi fiksasi yang lebih singkat dibandingkan dengan perakitan dengan menggunakan model-model lainnya.

Seperti terlihat pada Gambar 5, Model 1 menghasilkan durasi fiksasi yang lebih singkat dibandingkan dengan Model 3. Hasil ini menunjukkan bahwa kesesuaian kognitif antara model mental manusia dan sistem teknik dipengaruhi oleh banyaknya strategi perakitan (yang direpresentasikan dalam peraturan produksi) yang diadopsi dalam model perilaku robot. Hou dan Wang (2010) menyatakan bahwa aktivitas perakitan harus mempertimbangkan kesesuaian antara status fisik dan mental dari operator. Operasi pekerjaan perakitan meliputi aktivitas fisik dan non-fisik. Dalam setiap langkah perakitan, manusia pekerja akan melakukan pekerjaan fisik (seperti mengobservasi, meraih dan merakit) dan aktivitas mental (seperti memahami, menerjemahkan dan menerima informasi). Bila satu langkah telah terselesaikan, manusia akan merangkum aktivitas yang telah diselesaikan dan mengharapkan aktivitas yang sama di langkah berikutnya. Hal ini berarti manusia memiliki perilaku kognisi yang mengaplikasikan pengetahuan dan pengalaman sebelumnya ke dalam pekerjaan berikutnya. Bila langkah berikutnya tidak sesuai dengan pengetahuan sebelumnya, manusia akan memerlukan waktu lebih lama untuk beradaptasi dan mempelajari langkah sekarang. Selain itu, proses pembelajaran selama proses perakitan akan menjadi lebih lama karena perbedaan pergerakan robot hasil prediksi dan observasi.

Hubungan kuat antara peraturan perakitan per lapis dan faktor kedekatan dengan bagian produk sebelumnya dalam Model 3 mempengaruhi model mental dan area ketertarikan partisipan secara negatif. Hal ini berarti level kesesuaian yang terjadi antara model mental manusia dengan sistem teknik (yang direpresentasikan dalam model perilaku robot) berada di bawah level kesesuaian menggunakan Model 1. Di sisi lain, Model 1 didesain tanpa mempertimbangkan peraturan produksi berbasis sistem kognisi manusia dalam urutan perakitan. Partisipan mengenali urutan perakitan dalam Model 1 sebagai mode stokastik dan merasa lebih percaya diri dalam menyelesaikan pekerjaan perakitan. Dengan sistem ini, Model 1 menghasilkan durasi fiksasi dibandingkan Model 3.

Analisis lanjut kedua untuk perakitan menggunakan brik LEGO adalah tes perbandingan berpasangan untuk interaksi antara grup produk perakitan dan AOI. Pada bentuk piramid, memerlukan durasi fiksasi yang lebih panjang dibandingkan dengan bentuk kapal. Sebagai contoh, rata-rata durasi fiksasi bentuk piramid di AOI 1 adalah 29.054, 017 ms ($SD = 5.447,105$ ms), sedangkan durasi fiksasi untuk bentuk kapal adalah 26.414,863 ms ($SD = 2.832,085$ ms). Hal

ini berarti bentuk piramid memerlukan perhatian lebih di AOI 1 dibandingkan dengan bentuk kapal.

Hasil uji ANOVA untuk perakitan menggunakan karburator menunjukkan perbedaan signifikan durasi fiksasi pada interaksi antara model perilaku robot dan AOI. Seperti terlihat pada Gambar 7, Model 4 juga menghasilkan durasi fiksasi yang paling singkat untuk semua AOI, sedangkan sebaliknya Model 1 menghasilkan durasi fiksasi yang paling lama di AOI 1, AOI 2 dan AOI 3. Hasil studi ini mengkonfirmasi hipotesis sebelumnya bahwa kontrol kognitif yang direpresentasikan oleh Model 4 dapat diadopsi ke dalam sistem teknik. Hal ini diindikasikan oleh durasi perhatian ke area ketertarikan yang lebih singkat selama proses pelaksanaan perakitan.

4. KESIMPULAN

Pekerjaan perakitan menggunakan brik LEGO menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk interaksi antara model perilaku robot dan grup produk perakitan serta interaksi antara grup produk perakitan dan area ketertarikan (AOI). Hasil uji ANOVA untuk perakitan menggunakan karburator menunjukkan perbedaan signifikan pada fiksasi durasi untuk interaksi antara model perilaku robot dan AOI. Model 4 yang didesain paling menyerupai sistem kognisi manusia, dikenali sebagai strategi perakitan yang paling mudah dipahami dibandingkan dengan model-model lain. Hal ini dapat disimpulkan dari durasi perhatian yang diperlukan oleh para partisipan untuk kegiatan pemantauan dan supervisi selama proses perakitan menggunakan Model 4 menghasilkan waktu paling singkat. Hal ini menunjukkan model simulasi kognitif berorientasi manusia dapat diaplikasikan untuk mendukung interaksi manusia dan sistem teknik. Hasil penelitian yang patut digarisbawahi adalah bahwa durasi fiksasi pekerjaan perakitan menggunakan karburator memerlukan durasi lebih panjang dibandingkan dengan menggunakan brik LEGO. Perhatian partisipan dalam memilih bagian produk dan melaksanakan perakitan pada karburator meningkat 100-300% dibandingkan dengan level perhatian ketika bekerja dengan brik LEGO.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Bainbridge, L. (1983). Ironies of Automation. *Automatica*. Vol. 19, No.6, pp. 775-779
2. Buescher, C., Hauck, E., Schilberg, D., and Jeschke, S. (2012). Key Performance Indicators for the Impact of Cognitive Assembly Planning on Ramp-Up Process. *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2013/2014*. Springer Internasional Publisher.
3. Hollnagel, E., and Woods, D. (1999). Cognitive System Engineering: New wine in new bottles. *International Journal Human-Computer Studies*. 51, pp.339-356.
4. Hou, L., and Wang, X. (2010). *Using Augmented Reality to Cognitively Facilitate*

- Product Assembly Process*. Editor: SohaMaad. Intech.Croatia.
5. Mayer,M.,Odenthal, B.,Faber,M., Winkelholz, C., and Schlick, C. (2012). Cognitive Engineering of Automated Assembly Processes, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*. pp1-21 (online) Wiley Periodical,Inc.
 6. Mayer,M.,Odenthal,B.,Wagels,C.,Kuz,S., Kausch,B., and Schlick,C. (2011). Cognitive Engineering of Automated Assembly Processes, Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Hrsg.: D.Harris. Springer,Berlin. In :*Proceeding of 9th International Conference, EPCE2011, Held as Part of HCI International 2011* Orlando,FL,USA,pp.313-321.
 7. Mayer,M.P.,and Schlick,C.(2012).Improving operator's conformity with expectations in a cognitively automated assembly cell using human heuristics. In: *Conference Proceeding of the 4th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE)*,USA Publishing,pp.1263-1272.
 8. Mayer,M.P. (2012). *Entwicklung eines kognitions-ergonomisch en Konzeptes und eines Simulations systems für die roboter gestützte Montage*. Dissertation (in German). Shaker Verlag. Aachen.
 9. Mayer,M.P.,Odenthal,B.,Faber,M.,Neuhöfer,J., Kabuß,W., Kausch,B.,and Schlick,C.M.(2009). Cognitive Engineering for Direct Human-Robot Cooperation in Self-optimizing Assembly Cells. M.Kurosu (Ed.): *Human Centered Design, HCII2009, LNCS*,5619, pp.1003–1012.
 10. Onken,R.,and Schulte,A.(2010). System-Ergonomics Design of Cognitive Automation. *Studies in Computational Intelligence*. Springer, Berlin.
 11. Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*. 13 (3), pp. 257 – 266.
 12. Schlick,C.,Odenthal, B., Mayer,M., Neuhöfer,J., Grandt,M., and Kausch,B.,Mütze-Niewöhner,S. (2009). Design and Evaluation of an Augmented Vision System for Self-Optimizing Assembly Cells. *Industrial Engineering and Ergonomics: Visions, Concepts, Methods and Tools*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 13. Schlick, C.Reuth,R.,and Luczak, H. (2002). A comparative simulation study of work processes in autonomous production cells. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 12, pp.31–54.