

# PEMBUATAN ALAT BANTU SIMULASI DALAM RANGKA PERANCANGAN *RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEM* DI INDUSTRI MANUFAKTUR

**Inaki Maulida Hakim, Ilham Winoto**

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424

Telp: 021-78888805, Fax:021-7885656

[inakimhakim@ie.ui.ac.id](mailto:inakimhakim@ie.ui.ac.id), [ilham.winoto@ui.ac.id](mailto:ilham.winoto@ui.ac.id)

## Abstrak

*Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS)* adalah sistem manufaktur yang mempunyai kemampuan mengkonfigurasi ulang *hardware*, *software* dan pusat kontrol pada level fungsional dan organisasional supaya secara cepat menyesuaikan kapasitas dan fungsionalitas produksi sebagai respon terhadap pasar atau syarat pengaturan sistem yang berubah secara tiba-tiba. Penelitian ini membahas mengenai alat bantu simulasi RMS dalam rangka perancangan RMS yang dilihat berdasarkan hasil produksi dan penggunaan waktu produksi. Alat bantu simulasi ini dibuat dengan menggunakan metode simulasi berorientasi objek. Dari hasil simulasi dan analisis dapat disimpulkan bahwa alat bantu simulasi RMS ini telah mengandung kaidah dari keenam karakteristik RMS (*scalability*, *convertibility*, *integrability*, *modularity*, *customization* dan *diagnosability*) yang dapat digunakan untuk perancangan dan penerapan RMS pada industri manufaktur.

**Kata kunci :** metode simulasi berorientasi objek, model, *Reconfigurable Manufacturing Systems*, simulasi

## Abstract

*Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS)* is a manufacturing system that has an ability to reconfigure hardware, software and control resources at all on the functional and organizational levels, in order to quickly adjust production capacity and functionality in response to sudden changes in market or in regulatory requirements. This study discusses the development of simulation model in order to design the RMS which is observed based on the production result and the use of production time. This model was made by using the method of object-oriented simulation. From the results of simulation and analysis models can be concluded that the RMS simulation model already contains the rules of the six characteristics of RMS (*scalability*, *convertibility*, *integrability*, *modularity*, *customization* and *diagnosability*) so it can be used as a tool in the design and implementation of RMS in manufacturing industry.

**Keywords :** *Reconfigurable Manufacturing Systems* , model, simulation, object-oriented simulation

## PENDAHULUAN

Lingkungan manufaktur memiliki dampak yang besar pada kinerja sistem manufaktur. Lingkungan manufaktur saat ini membuat beberapa persyaratan penting bagi sistem manufaktur, antara lain : *short lead-time*, variasi produk, permintaan semakin fluktuatif dan harga murah (Bi et al., 2007).

Dengan kondisi demikian, maka diperlukan sistem manufaktur yang mampu menjawab semua tantangan tersebut. Menurut Xiuli Meng (2010), dalam rangka menyediakan berbagai produk yang mampu merespon pasar dengan cepat mengikuti tuntutan lingkungan seperti, *product lead-*

*time* lebih pendek, variasi produk lebih beragam, permintaan semakin fluktuatif dan harga produk lebih murah, maka rekonfigurabilitas adalah konsep penting yang telah diterima secara luas di dunia industri dan akademisi. Konsep rekonfigurabilitas inilah yang menjadi kata kunci penting dari *Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS)*.

Menurut Koren et al. (1999) yang disempurnakan pada Konferensi ke-3 RMS di *University of Michigan*, 10-12 Mei 2005, RMS adalah sistem manufaktur yang mempunyai kemampuan mengkonfigurasi ulang *hardware*, *software* dan pusat kontrol pada level fungsional dan organisasional

supaya secara cepat menyesuaikan kapasitas dan fungsionalitas produksi sebagai respon terhadap pasar atau syarat pengaturan sistem yang berubah secara tiba-tiba.

Keunggulan RMS dibandingkan dengan *Dedicated Manufacturing Line* (DML) dan *Flexible Manufacturing Systems* (FMS) adalah bahwa RMS menggunakan pendekatan manufaktur baru yang mengkombinasikan tingkat produktivitas tinggi yang menjadi keunggulan utama DML dengan fleksibilitas produksi yang menjadi keunggulan FMS. Selain itu, RMS juga mampu bereaksi untuk berubah secara cepat dan efisien menyesuaikan perubahan pasar dan/atau pengaturan sistem yang berubah secara tiba-tiba.

RMS didesain untuk mempunyai satu set karakteristik kunci yang meliputi *modularity*, *scalability*, *integrability*, *customization*, *convertibility*, dan *diagnosability*. *Modularity* menyatakan bahwa baik elemen *software* maupun *hardware*, semuanya modular. *Scalability* berarti sistem mampu menyesuaikan skala volume produk sesuai kebutuhan. *Integrability* berarti sistem dan komponen sistem didesain untuk sistem terintegrasi dan mampu menerima teknologi baru di masa depan. *Customization* berkaitan dengan kemampuan mereduksi biaya mesin dan sistem karena memiliki kemampuan untuk memproduksi suatu keluarga komponen (*part family*). *Convertibility* mengizinkan perubahan (*changeover*) secara cepat antara produk yang sedang eksis dengan tingkat adaptasi sistem yang cepat terhadap produk masa depan. *Diagnosability* berarti kemampuan untuk mengidentifikasi secara cepat sumber masalah kualitas dan reliabilitas terjadi pada sistem (Mehrabi et al. 2000, 2002).

Penelitian terhadap setiap karakteristik kunci RMS telah dilakukan oleh banyak ahli. Berdasarkan hasil studi literatur, diperlukan suatu studi untuk membuat alat bantu simulasi yang mampu mengintegrasikan keenam karakteristik kunci RMS dalam satu model. Alat bantu simulasi RMS ini akan menjadi alat bantu yang memudahkan perusahaan manufaktur

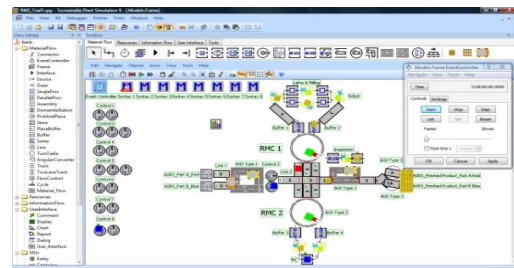
dalam merancang dan menerapkan RMS. Saat ini biaya penerapan RMS dalam suatu industri manufaktur masih tergolong mahal. Oleh karena itu, pembuatan alat bantu simulasi RMS ini diharapkan mampu meminimalisasi resiko, potensi kerugian dan berperan dalam menentukan keberhasilan penerapan RMS pada industri manufaktur.

## METODE PENELITIAN

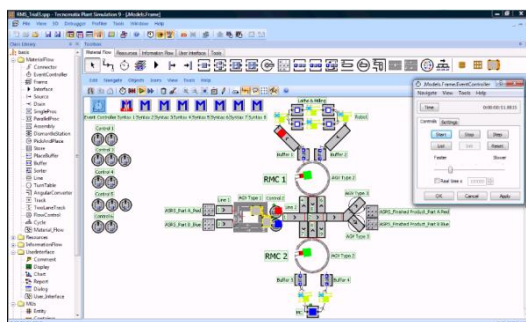
Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan alat bantu simulasi RMS adalah metode simulasi berorientasi objek. Metode ini dipilih karena mampu diaplikasikan secara lebih mudah, mudah dipahami dan memiliki keunggulan dalam hal visualisasi sistem yang sangat baik sehingga memudahkan proses pembuatan, identifikasi, pengamatan, dan analisis sistem secara detail. Sebuah simulasi berorientasi objek terdiri dari satu set objek yang berinteraksi satu sama lain dari waktu ke waktu. Simulasi berorientasi objek memiliki daya tarik intuitif yang besar dalam aplikasi karena sangat mudah untuk melihat dunia nyata terdiri dari sebagai objek. Simulasi berorientasi objek mampu memetakan satu-ke-satu antara setiap objek dalam sistem manufaktur yang dimodelkan dan abstraksi mereka dalam model simulasi (Narayanan et al., 1998).

## HASIL

Penulis membangun dua buah konfigurasi alat bantu simulasi RMS. Alat bantu simulasi RMS konfigurasi pertama tanpa bagian inspeksi dapat dilihat pada Gambar 1. Sementara itu, alat bantu simulasi RMS dengan bagian inspeksi dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1** Alat bantu simulasi RMS Konfigurasi Pertama (tanpa Inspeksi)



**Gambar 2** Alat bantu simulasi RMS Konfigurasi Kedua (dengan Inspeksi)

Dalam rangka melakukan validasi terhadap alat bantu simulasi RMS ini, Penulis menggunakan dua jenis validasi model, yaitu validasi penampakan (*face validity*) dan validasi penelusuran (*trace validity*). Validasi penampakan bertujuan untuk meninjau kebenaran model sesuai dengan data yang menjadi acuan validasi dengan cara melakukan perbandingan keluaran hasil. Sementara itu, validasi penelusuran bertujuan untuk menelusuri kebenaran logika model sesuai dengan logika sistem yang menjadi acuan validasi.

Pada Tabel 1. berikut ini akan ditampilkan hasil uji validasi penampakan.

Kriteria	Alat Bantu Simulasi RMS	Model Petri Net RMS (Xiuli Meng, 2010)	Tingkat Kesalahan
Total Throughput (satuan)	1152	1100	4.5%
Average Lifespan (menit:detik)	1:49	1:50	0.9%
Average Exit Interval (detik)	25.00	26.18	4.72%

**Tabel 1** Hasil Uji Validasi Alat Bantu Simulasi RMS

Pada hasil uji validasi pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa tingkat kesalahan pada perbandingan keluaran hasil antara alat bantu simulasi RMS berdasarkan kriteria *total throughput*, *average lifespan* dan *average exit interval* berturut-turut adalah 4,5%, 0,9% dan 4,72%. Tingkat kesalahan

masih dalam batas aman toleransi yaitu kurang dari 5%. Oleh karena itu, alat bantu simulasi RMS ini telah tervalidasi dengan baik menggunakan uji validasi penampakan.

Sementara itu untuk melakukan uji validasi penelusuran, penulis akan melakukan identifikasi perilaku-perilaku utama yang terdapat pada alat bantu simulasi RMS untuk kemudian dianalisis kesamaannya dengan perilaku-perilaku sistem yang menjadi acuan pembuatan alat bantu simulasi RMS ini.

Berdasarkan hasil pengamatan selama menjalankan simulasi, penulis mengidentifikasi perilaku-perilaku utama RMS, antara lain :

- Sistem pada alat bantu simulasi RMS dikendalikan secara otomatis melalui pusat kontrol. Pusat kontrol ini mengendalikan sub-sistem *material-handling*, sub-sistem permesinan dan sub-sistem penyimpanan produk. Oleh karena itu, dalam alat bantu simulasi RMS ini, tidak ada peran manusia yang terlibat secara langsung dalam produksi. Peran manusia hanya dilibatkan secara tidak langsung, seperti dalam hal pengaturan pusat kontrol, pembuatan *master production scheduling* (MPS), pemeliharaan, dll.
- Sub-sistem *material-handling* ditangani oleh alat kerja otomatis, seperti AGV, konveyor otomatis dan robot. Alat kerja otomatis ini memiliki tingkat inteligensi yang tinggi yang dapat dilihat dari kemampuannya untuk mengidentifikasi suatu material yang akan diantar menuju tempat tujuan yang benar tanpa dikendalikan oleh bantuan manusia. Selain itu, alat kerja otomatis ini baru bekerja ketika memang dibutuhkan untuk bekerja. Hal ini tentu menguntungkan karena dapat meningkatkan efisiensi sistem secara signifikan.
- Sub-sistem permesinan mampu melakukan beberapa pekerjaan sekaligus terhadap produk yang masih tergolong dalam satu *part family*. Hal ini dapat dilakukan karena pada konsep RMS, setiap komponen dibuat secara modular

sehingga proses kerja dapat dilakukan terhadap semua komponen yang memiliki kemiripan bentuk dan fitur geometris dalam satu mesin. Sub-sistem penyimpanan produk memiliki kemampuan otomatis (tanpa bantuan manusia) untuk mengidentifikasi produk apa disimpan dalam pos penyimpanan produk yang mana. Hal ini memudahkan pengantaran produk dengan jenis yang beragam menuju tempat distribusi atau konsumen/pelanggan sesuai dengan pesanan.

Keempat perilaku utama yang terdapat pada alat bantu simulasi RMS ini telah mencerminkan kesamaan dengan perilaku-perilaku RMS yang digambarkan pada model hasil penelitian Wu & Zhou (2011), Xiuli Meng (2010) dan Li et. al. (2009). Oleh karena itu, alat bantu simulasi RMS ini telah tervalidasi dengan baik menggunakan uji validasi penelusuran.

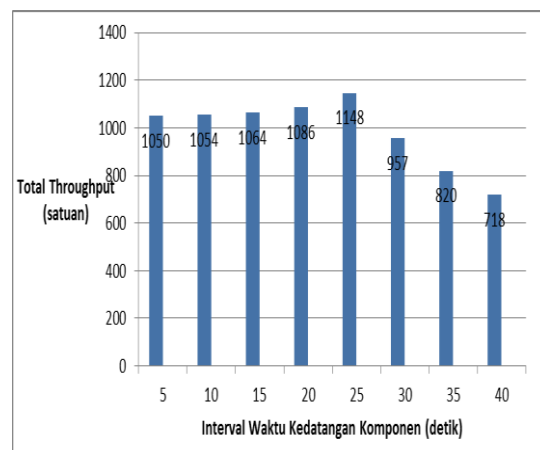
## PEMBAHASAN

Salah satu cara yang paling efektif untuk mendapatkan pemahaman dan gambaran yang lebih baik mengenai karakteristik dan perilaku RMS adalah dengan memperoleh alat bantu simulasi RMS. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat bantu simulasi RMS yang mengandung kaidah dari keenam karakteristik kunci RMS (*scalability*, *convertibility*, *integrability*, *modularity*, *customization* dan *diagnosability*) yang dilihat berdasarkan hasil produksi dan waktu produksi dalam rangka perancangan RMS dengan menggunakan metode simulasi berorientasi objek.

Oleh karena itu, pada bagian ini akan dibahas analisis terhadap alat bantu simulasi RMS untuk mencapai tujuan penelitian tersebut. Secara umum, analisis akan dilakukan terhadap alat bantu simulasi RMS berjumlah dua konfigurasi, yaitu konfigurasi model RMS tanpa inspeksi dan konfigurasi model dengan inspeksi. Setiap simulasi akan memiliki skenario yang berbeda dan dijalankan selama jangka waktu satu *shift* normal atau delapan jam.

### (1) Analisis Karakteristik *Scalability*

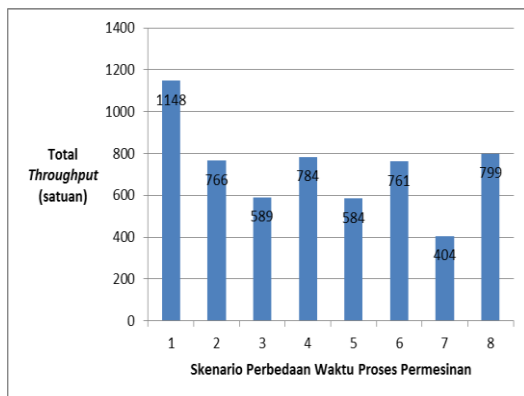
*Scalability* berarti sistem mampu menyesuaikan skala kapasitas produksi sesuai kebutuhan. Untuk mengetahui karakteristik *scalability* maka analisis akan dilakukan terhadap alat bantu simulasi RMS yang akan dijalankan dengan skenario-skenario berdasarkan perbedaan waktu interval kedatangan komponen. Hasil simulasi dengan menggunakan skenario ini dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3 Hasil Simulasi Tingkat *Throughput* pada Skenario Perbedaan Waktu Interval Kedatangan Komponen**

Pada Gambar 3, jelas terlihat bahwa meskipun waktu interval kedatangan komponen dilakukan perubahan, sistem alat bantu simulasi RMS masih mampu menghasilkan keluaran produk (*throughput*) yang cukup stabil pada interval waktu kedatangan 5 detik per komponen hingga interval waktu kedatangan 25 detik per komponen. Setelah interval waktu kedatangan diubah menjadi diatas 30 detik per komponen, keluaran produk (*throughput*) sudah mengalami penurunan yang dramatis. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem alat bantu simulasi RMS yang dibuat memiliki tingkat *scalability* hingga rentang interval waktu kedatangan komponen sebesar 20 detik, yaitu dari 5 detik per komponen hingga 25 detik per komponen.

(2) Analisis Karakteristik *Convertibility*  
*Convertibility* mengizinkan perubahan (*changeover*) secara cepat antara produk yang sedang eksis dengan tingkat adaptasi sistem yang cepat terhadap produk masa depan. Untuk mengetahui karakteristik *convertibility* maka analisis akan dilakukan terhadap alat bantu simulasi RMS yang akan dijalankan dengan skenario-skenario berdasarkan perubahan waktu proses pada *lathe machine*, *milling machine* dan *machining center* (MC). Hasil simulasi dengan menggunakan skenario ini dapat dilihat pada Gambar 4.

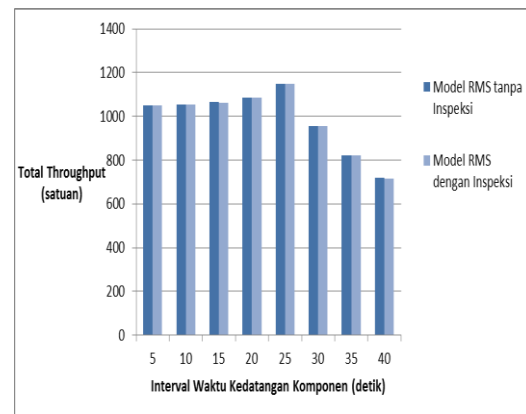


**Gambar 4 Hasil Simulasi Tingkat Throughput pada Skenario Perbedaan Waktu Proses**

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 4. dapat dijelaskan bahwa setelah dilakukan simulasi sebanyak delapan skenario perbedaan waktu proses pada setiap mesin CNC, sistem alat bantu simulasi RMS dapat beradaptasi karena semua simulasi dapat berjalan hingga selesai (1 *shift*) dan semua simulasi sebanyak delapan skenario menghasilkan *throughput*. Perbedaan jumlah *throughput* dari setiap skenario simulasi mengindikasikan bahwa telah terjadi proses adaptasi sistem mengikuti perubahan proses waktu produksi untuk tetap mampu menjalankan proses produksi sebagaimana mestinya. Hal ini berarti alat bantu simulasi RMS yang dibuat telah mampu menggambarkan karakteristik *convertibility*.

(3) Analisis Karakteristik *Integrability*

*Integrability* berarti sistem dan komponen sistem didesain untuk sistem terintegrasi dan mampu menerima teknologi baru di masa depan. Untuk mengetahui karakteristik *integrability* maka analisis akan dilakukan terhadap alat bantu simulasi RMS sejumlah dua rekonfigurasi model RMS, yaitu (1) konfigurasi model RMS tanpa inspeksi dan (2) konfigurasi model RMS dengan inspeksi. Hasil simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5 Hasil Simulasi Tingkat Throughput pada Skenario Perbedaan Waktu Interval Kedatangan Komponen (Model RMS tanpa Inspeksi vs Model RMS dengan Inspeksi)**

Pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa meskipun sudah dilakukan penambahan pos baru pada sistem yaitu pos inspeksi, sistem alat bantu simulasi RMS tetap mampu menghasilkan keluaran produk (*throughput*) yang kurang lebih sama pada skenario perbedaan waktu interval kedatangan komponen. Hal ini mengindikasikan bahwa alat bantu simulasi RMS yang dibuat sudah mampu menggambarkan karakteristik *integrability*.

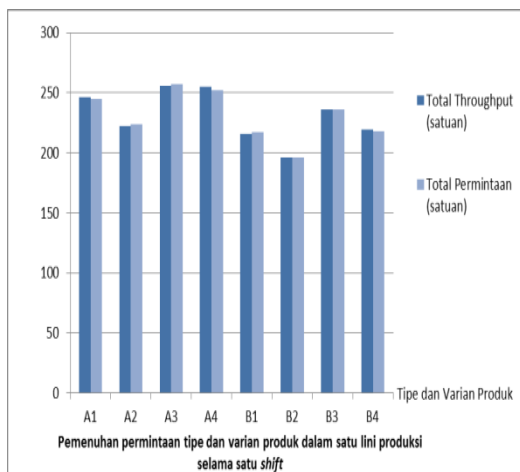
(4) Analisis Karakteristik *Customization*

*Customization* berkaitan dengan kemampuan mereduksi biaya mesin dan sistem karena memiliki kemampuan untuk memproduksi suatu keluarga komponen atau keluarga produk (*part family or product family*), bukan komponen tunggal (seperti DML) atau komponen apapun (seperti FMS). Dalam konteks RMS, yang dimaksud *part*



*family* atau *product family* adalah semua komponen atau produk yang memiliki kemiripan bentuk dan fitur geometris, level toleransi yang sama, perlakuan proses yang sama dan di dalam rentang biaya yang sama.

Untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik *customization* pada model RMS ini, penulis melakukan simulasi dengan cara mengoperasikan mesin CNC (Lathe, Milling & MC) untuk memproses secara simultan dua tipe produk dengan empat varian untuk setiap tipe produk. Proses produksi ini terjadi pada satu lini produksi dimana tiap mesin CNC (Lathe, Milling & MC) memiliki kemampuan rekonfigurabel sehingga mampu memproses secara simultan setiap komponen menjadi dua tipe produk dengan empat varian mengikuti skenario jumlah permintaan. Hasil simulasi dengan menggunakan skenario ini dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6 Perbandingan antara Hasil Simulasi Tingkat *Throughput* dengan Skenario Jumlah Permintaan untuk Setiap Tipe dan Varian Produk selama satu *shift***

Pada Gambar 6. dapat dilihat bahwa selama satu *shift* untuk tipe dan varian produk B<sub>2</sub> dan B<sub>3</sub> berhasil diproduksi dengan jumlah yang tepat sesuai dengan jumlah permintaan. Sementara itu, untuk tipe dan varian produk A<sub>1</sub> terjadi kelebihan produksi satu unit (0,4%), untuk A<sub>2</sub> terjadi kekurangan produksi

dua unit (0,9%), untuk A<sub>3</sub> terjadi kekurangan produksi satu unit (0,4%), untuk A<sub>4</sub> terjadi kelebihan produksi tiga unit (1,2%), untuk B<sub>1</sub> terjadi kekurangan produksi satu unit (0,5%), dan untuk B<sub>4</sub> terjadi kelebihan produksi satu unit (0,5%). Kekurangan atau kelebihan produksi yang selalu kurang dari 2% selama satu *shift* membuktikan bahwa keakuratan produksi pada alat bantu simulasi RMS sudah tergolong baik.

Gambar 6. telah membuktikan bahwa sistem telah mampu melakukan proses produksi dalam satu lini produksi untuk menghasilkan secara simultan produk dengan tipe dan varian yang berbeda-beda. Hal ini bahwa alat bantu simulasi RMS yang dibuat telah mampu menggambarkan karakteristik *customization*.

Kemudian lebih lanjut penulis mencoba membandingkan jumlah kebutuhan mesin dan operator antara alat bantu simulasi RMS dengan model simulasi DML untuk memenuhi jumlah permintaan setiap tipe dan varian produk selama satu *shift*. Hasil perbandingan ini dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini.

Mesin	Jumlah Kebutuhan Mesin (unit)		Jumlah Kebutuhan Operator (orang)	
	Model DML	Model RMS	Model DML	Model RMS
Lathe	8	2	2	1
Milling	8	2	2	
MC	4	1	2	
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

**Tabel 2 Jumlah Kebutuhan Mesin & Operator dalam Pemenuhan Permintaan (Model DMLvsModel RMS)**

Pada Tabel 2. dapat dilihat bahwa untuk mampu memenuhi jumlah permintaan setiap tipe dan varian produk selama satu *shift*, model DML membutuhkan total mesin sebanyak 20 unit atau 4x lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan mesin pada model RMS yang hanya membutuhkan total mesin sebanyak 5 unit. Lebih lanjut, dapat dilihat pula bahwa untuk mampu memenuhi jumlah permintaan setiap tipe

dan varian produk selama satu *shift*, model DML membutuhkan total operator sebanyak 6 orang atau 6x lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan operator pada model RMS yang hanya membutuhkan total operator 1 orang. Hasil perbandingan ini membuktikan bahwa karakteristik *customization* yang dimiliki oleh alat bantu simulasi RMS telah mampu menurunkan biaya mesin dan biaya operator dalam rangka memenuhi jumlah permintaan produk dengan tipe dan varian yang berbeda-beda.

(5) Analisis Karakteristik *Diagnosability*

*Diagnosability* berarti kemampuan untuk mengidentifikasi secara cepat sumber masalah kualitas dan reliabilitas yang terjadi pada sistem. Model RMS harus memiliki kemampuan memantau kondisi mesin dan pusat kontrol sehingga dapat mendeteksi dan mendiagnosa akar penyebab dari keluaran produk yang cacat dan secara cepat mengoreksi/memperbaiki proses terjadinya kecacatan tersebut sehingga tidak kembali terulang.

Pada RMS, *diagnosability* mempunyai dua tujuan, yaitu : memberitahu adanya kegagalan mesin dan mendeteksi kecacatan produk. Sistem rekonfigurabel harus mencakup sistem pengukuran kualitas produk sebagai bagian integral. Sistem pengukuran kualitas produk ini dimaksudkan untuk membantu mengidentifikasi masalah kualitas produk dalam sistem produksi secara cepat, sehingga kualitas produk dapat diperbaiki memanfaatkan teknologi kontrol, statistik, dan teknik pemrosesan sinyal.

Untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik *diagnosability* pada model RMS ini, penulis akan melakukan simulasi dengan melibatkan perangkat penunjang utama karakteristik *diagnosability*, yaitu : *Reconfigurable Inspection Machine* (RIM), *Automatic Return Conveyor* (ARC) dan *Early Warning Failure Machine*.

Penulis akan mencoba membandingkan hasil simulasi selama satu *shift* antara alat bantu simulasi RMS sebelum

menggunakan RIM & ARC, setelah menggunakan RIM dan setelah menggunakan RIM dan ARC. Perbandingan hasil simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa sebelum menggunakan RIM & ARC, sistem belum mampu mengidentifikasi secara otomatis berapa unit produk yang cacat (*defect*) dan berapa unit produk cacat yang bisa diperbaiki atau diproses kembali secara otomatis kedalam sistem sehingga menjadi produk yang berkualitas baik. Setelah menggunakan RIM, sistem telah mampu mengidentifikasi secara otomatis berapa unit produk yang cacat (*defect*) namun belum mampu memperbaiki atau mengolah kembali secara otomatis produk yang cacat tersebut untuk menjadi produk berkualitas baik. Setelah menggunakan RIM dan ARC, sistem telah mampu mengidentifikasi secara otomatis berapa unit produk yang cacat (*defect*) dan telah mampu juga memperbaiki atau mengolah kembali secara otomatis produk yang cacat tersebut untuk menjadi produk berkualitas baik.

<i>Product</i>		<i>Before using RIM &amp; ARC</i>	<i>After using RIM</i>	<i>After using RIM &amp; ARC</i>
A	<i>Total Throughput (unit)</i>	921	918	920
	<i>Defect (unit)</i>	?	3	3
	<i>Rework (unit)</i>	?	?	2
	<i>Can not be reworked (unit)</i>	?	?	1
B	<i>Total Throughput (unit)</i>	778	772	776
	<i>Defect (unit)</i>	?	6	6
	<i>Rework (unit)</i>	?	?	4
	<i>Can not be reworked (unit)</i>	?	?	2

**Tabel 3 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Menggunakan RIM & ARC**

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 3. telah dibuktikan bahwa alat bantu simulasi RMS ini telah mampu mengidentifikasi kecacatan produk secara otomatis dengan menggunakan RIM dan telah mampu memperbaiki kembali produk yang cacat tersebut menjadi produk berkualitas baik secara otomatis dengan menggunakan ARC. Hal ini bahwa alat bantu simulasi RMS yang dibuat sudah mampu menggambarkan karakteristik *diagnosability*.

Kemudian, penulis akan mencoba membandingkan hasil simulasi selama satu *shift* antara alat bantu simulasi RMS sebelum menggunakan EWFM dan setelah menggunakan EWFM. Perbandingan hasil simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4. berikut ini.

<i>CNC Machine</i>		<i>Statistic before using EWFM</i>	<i>Statistic after using EWFM</i>
Lathe	<i>Working</i>	57.39%	63.87%
	<i>Waiting</i>	35.37%	35.37%
	<i>Failed</i>	7.25%	0.77%
	<i>Total</i>	100%	100%
Milling	<i>Working</i>	58.89%	63.99%
	<i>Waiting</i>	35.35%	35.35%
	<i>Failed</i>	5.76%	0.66%
	<i>Total</i>	100%	100%
MC	<i>Working</i>	70.69%	80.58%
	<i>Waiting</i>	16.14%	16.14%
	<i>Failed</i>	13.16%	3.27%
	<i>Total</i>	100%	100%
<i>Total Throughput of Product A (unit)</i>		920	986
<i>Total Throughput of Product B (unit)</i>		776	832

**Tabel 4 Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum dan Sesudah Menggunakan EWFM**

Pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa penggunaan *Early Warning Failure Machine* (EWFM) mampu menurunkan tingkat kegagalan mesin secara

signifikan. Tingkat kegagalan mesin CNC Lathe berkurang dari 7,25% menjadi 0,77%, tingkat kegagalan mesin CNC Milling berkurang dari 5,76% menjadi 0,66% dan tingkat kegagalan mesin CNC MC berkurang dari 13,16% menjadi 3,27%.

Penurunan tingkat kegagalan mesin ini akan meningkatkan produktivitas mesin sehingga secara otomatis akan meningkatkan total keluaran produksi (*throughput*). Total *throughput* produk A meningkat dari awalnya 920 unit (sebelum menggunakan EWFM) menjadi 986 unit (setelah menggunakan EWFM). Sementara itu, Total *throughput* produk B meningkat dari awalnya 776 unit (sebelum menggunakan EWFM) menjadi 832 unit (setelah menggunakan EWFM). Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan EWFM mendorong peningkatan produktivitas sebesar 7,2%.

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 4. telah dibuktikan bahwa alat bantu simulasi RMS ini telah mampu memberikan informasi peringatan dini terhadap faktor kegagalan mesin yang bermanfaat untuk mendorong peningkatan produktivitas sistem sebesar 7,2%. Hal ini mengindikasikan bahwa alat bantu simulasi RMS yang dibuat sudah mampu menggambarkan karakteristik *diagnosability*.

#### (6) Analisis Karakteristik *Modularity*

Pada alat bantu simulasi RMS ini, proses adaptasi sistem direalisasikan dengan cara melakukan pembagian fungsi operasional menjadi unit-unit yang dapat dimanipulasi berdasarkan alternatif konfigurasi-konfigurasi mesin yang dimiliki. Selain itu, sistem telah memiliki permesinan yang modular, memiliki banyak alternatif konfigurasi untuk bisa memenuhi jumlah permintaan yang sangat variatif. Hal ini mengindikasikan bahwa alat bantu simulasi RMS ini telah memiliki karakteristik *modularity* yang menjadi landasan bagi sistem untuk dapat merealisasikan karakteristik *convertibility*, *integrability* dan *customization*.



## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa alat bantu simulasi RMS yang dibuat telah mengandung kaidah dari keenam karakteristik kunci RMS yang dilihat berdasarkan parameter hasil produksi dan waktu produksi yang dapat dimanfaatkan dalam rangka perancangan RMS di industri manufaktur.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Bi, Z.(2007). "Reconfigurable Manufacturing Systems: The State of The Art". *International Journal of Production Research*, 46, (4), pp. 967-992.
2. E. Abele.(2004). "Globalization and Decentralization of Manufacturing". *International Journal of Manufacturing System*, 20, (2), pp.234-241.
3. Endsley, Almeida, dan Tilbury.(2006). "Modular finite state machines: Development and application to reconfigurable manufacturing cell controller generation". *Control Engineering Practice*14 (2006) 1127–1142.
4. Jeffery A. Joines, Stephen D. Roberts.(1998). "Fundamentals of Object-Oriented Simulation". *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*. Department of Industrial Engineering Campus Box 7906 North Carolina State University Raleigh, NC 27695-7906, USA.
5. Jun, Li.(2009). "Rapid design and reconfiguration of Petri net models for reconfigurable manufacturing cells with improved net rewriting systems and activity diagrams". *Computers & Industrial Engineering*57 (2009) 1431–1451.
6. Koren, Y., Shpitalni, M.(2011). "Design of reconfigurable manufacturing systems". *Journal of Manufacturing System*, Vol.29, pp. 130-141.
7. Koren, Y., Jovane, F., Heisel, U., Moriwaki, T., Pritschow G., Ulsoy G., and VanBrussel H. (1999). "Reconfigurable Manufacturing Systems. A Keynote paper". *CIRP Annals*, Vol. 48, No. 2, pp. 6-12.
8. Koren, Y.(2006). "General RMS Characteristics—Comparison with Dedicated and Flexible Systems". Springer-Verlag Berlin Heidelberg: New York, USA.
9. Loffler, Westkamper, dan Unger.(2012). "Changeability in Structure Planning of Automotive Manufacturing". Elsevier B.V. *Selection and/or peer-review*Vol. 51, No.1, pp. 5-18.
10. Mourtzis, Doukas, and Psarommatis.(2012). "A multi-criteria evaluation of centralized and decentralized production networks in a highly customer-driven environment". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*61 (2012) 427–430.
11. Padayachee and Bright.(2011). "Modular machine tools: Design and barriers to industrial implementation". *Journal of Manufacturing Systems*31 (2012) 92–102.
12. Sperdelozzl, V., and Yoram Koren.(2003). "Convertibility Measures for Manufacturing Systems". NSF Engineering Research Center for Reconfigurable Manufacturing Systems : Michigan, USA.
13. Tao, Li.(2010). "Selecting profitable custom instructions for reconfigurable processors". *Journal of Systems Architecture*56 (2010) 340–351.
14. Wainer, G.A, and Mosterman, P.J.(2011). "Discrete-Event Modeling and Simulation". CRC Press Taylor & Francis Group : New York, USA.
15. Wang and Yoram Koren.(2012). "Scalability planning for reconfigurable manufacturing systems". *Journal of Manufacturing Systems*31 (2012) 83– 91.
16. Wei, Ho dan Yen.(2002). "Reconfigurable Control System Design for Fault Diagnosis and Accommodation". *International Journal of Neural Systems*, Vol. 12, No. 6 (2002) 497–520.
17. Wiendahl, P.(2007). "Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation". *Annals of the CIRP* Vol. 56/2/2007.

18. Wu and Zhou.(2011).”Intelligent token Petri nets for modelling and control of reconfigurable automated manufacturing systems with dynamical changes”. Transactions of the Institute of Measurement and Control 33, 1 (2011) pp. 9–29.

19. Xiuli Meng.(2010).“Modeling of reconfigurable manufacturing systems based on colored timed object-oriented petri nets”. Journal of Manufacturing Systems 29 81-90.