

# Optimasi Jumlah Operator dengan Metode Simulasi Arena: Studi Kasus pada Stasiun Kerja Pengecatan *Sheet Metal Fabrication*

Hoedi Prasetyo<sup>\*1,2)</sup>, Eko Liquidanu<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A,  
Ketingan, Surakarta, 57126, Indonesia

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta, Jl. Adisucipto/ Jl. Mojo No.1, Laweyan  
Surakarta, 57145, Indonesia

<sup>3)</sup>Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A,  
Ketingan, Surakarta, 57126, Indonesia

Email: hoedi@student.uns.ac.id, ekoliquidanu@staff.uns.ac.id

## ABSTRAK

Masalah yang muncul pada suatu sistem produksi dapat diselesaikan dengan metode analitik, numerik atau pendekatan simulasi. Jika masalah yang dihadapi dalam sistem cukup kompleks, sangat dinamis atau sulit untuk ditentukan fungsi matematisnya maka pendekatan simulasi menjadi metode penyelesaian yang disarankan. Studi pada makalah ini berusaha memecahkan masalah jumlah operator pembersih yang optimal pada stasiun kerja pengecatan di unit *Sheet Metal Fabrication* milik PT. ATMI Solo. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan metode pemodelan simulasi melalui perangkat lunak Arena. Jumlah operator yang banyak dapat mengurangi biaya waktu tunggu. Di sisi lain, jumlah operator yang berlebihan juga dapat mengakibatkan kenaikan biaya waktu idle operator. Kondisi yang optimal adalah ketika jumlah operator menghasilkan biaya waktu tunggu dan biaya waktu idle paling kecil. Model yang disimulasikan memiliki empat alternatif solusi yaitu dengan lima operator, tiga operator, dua operator atau hanya satu operator. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem dengan dua orang operator pembersih menjadi solusi yang paling optimal.

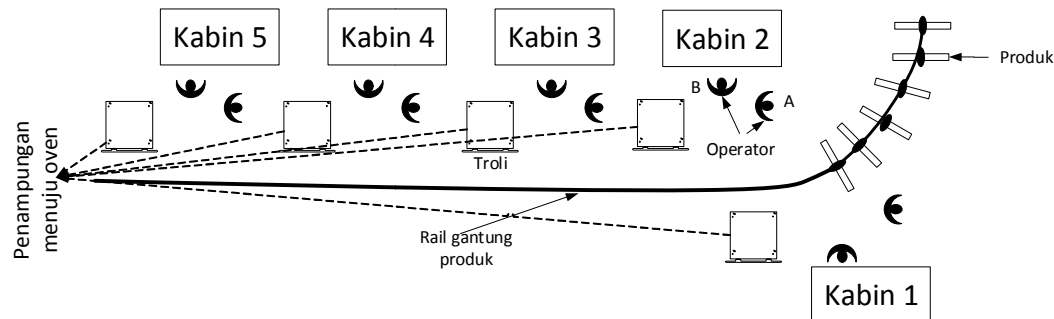
**Kata kunci:** arena, optimasi jumlah operator, simulasi sistem produksi

## 1. Pendahuluan

PT. ATMI Solo adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur. Salah satu unit produksi yang dimiliki adalah *Sheet Metal Fabrication* yang menghasilkan produk furnitur kantor, sekolah dan rumah sakit seperti kursi, meja, lemari dan produk lainnya yang berbahan mentah *sheet metal* (PT. ATMI Solo, 2017). Bahan *sheet metal* yang berupa lembaran melewati proses *cutting*, *bending*, *punching*, dan *welding* sehingga menjadi produk setengah jadi dengan bentuk dan fungsi tertentu. Produk tersebut kemudian dicuci melalui sistem konveyor. Produk yang telah selesai dicuci kemudian dikeringkan dan siap untuk proses pengecatan. Metode pengecatan yang digunakan adalah proses *powder coating*. Menurut Bailey (1998), *powder coating* merupakan proses pemberian warna pada permukaan produk logam dengan cara menyemprotkan bubuk warna yang bersifat elektrostatis. Bubuk warna tersebut akan tertarik karena gaya listrik dan menempel pada permukaan logam yang terhubung ke tanah (kutub listrik *ground*). Metode pengecatan ini diklaim dapat memberikan hasil yang berkualitas tinggi dan memiliki durabilitas yang baik. Namun, hasil kualitas pengecatan dengan metode ini juga sangat dipengaruhi oleh proses *pre-treatment*. Proses *pre-treatment* meliputi pencucian dengan air hangat, pengeringan dan pembersihan dari debu atau kotoran. Adanya kotoran yang menempel pada produk saat dilakukan proses *powder coating* dapat mengakibatkan bubuk warna yang disemprotkan tidak dapat menempel dengan sempurna sehingga menghasilkan warna yang tidak merata dan kasar.

Unit *Sheet Metal Fabrication* memiliki stasiun kerja pengecatan yang terdiri dari lima kabin pengecatan dan dua oven. Gambaran tata letak stasiun kerja pengecatan dapat dilihat pada gambar 1. Tiap kabin dioperasikan oleh dua operator, dapat disebut sebagai operator A dan B.

Operator A bertugas melaksanakan proses pembersihan, yaitu mengambil produk dari rail gantung, kemudian membersihkan debu dan memastikan bahwa permukaan produk siap untuk proses pengecatan.



Gambar 1. Tata letak stasiun kerja pengecatan

Operator B bertugas melakukan proses penyemprotan/*spraying* bubuk warna ke seluruh permukaan produk seperti ditunjukkan pada gambar 2. Setelah selesai, produk yang telah disemprot kemudian digantungkan ke troli. Troli yang penuh kemudian dibawa ke fasilitas oven untuk proses pemanasan sehingga warna produk menjadi permanen. Selanjutnya produk-produk tersebut dibawa ke stasiun kerja perakitan untuk dirakit menjadi produk jadi sesuai pesanan. Produk jadi kemudian dikemas dan dikirim kepada para pelanggan.



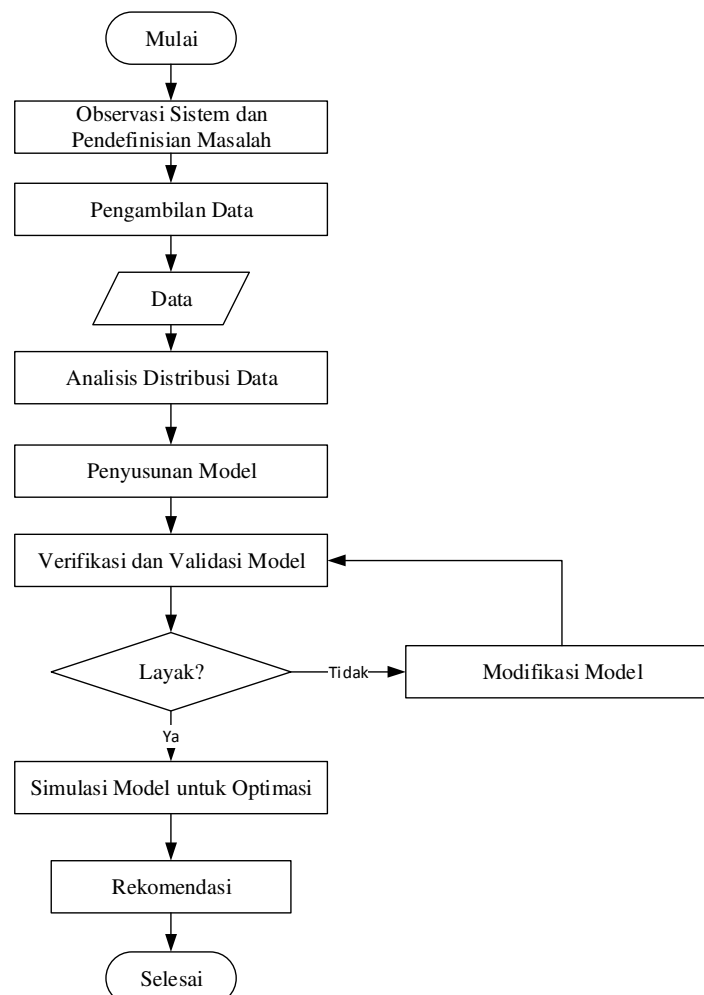
Gambar 2. Proses pengecatan dengan metode *powder coating*

Berdasarkan hasil pengamatan awal, ada potensi perbaikan terhadap proses pengecatan pada rangkaian produksi di atas. Rata-rata waktu siklus kerja operator A lebih pendek dibandingkan dengan operator B, sehingga ada waktu *idle* yang sering dialami oleh operator A pada tiap kabin. Jika ada kebijakan yang menyatakan operator A dapat melayani lebih dari satu kabin maka ada potensi penghematan jumlah tenaga kerja yang diperlukan pada stasiun kerja tersebut sehingga berpotensi menurunkan biaya. Namun, jika jumlah operator A dikurangi, ada resiko meningkatnya antrian proses pengecatan produk pada kabin tertentu. Kondisi ini dapat terjadi karena operator A masih sibuk melayani kabin yang lainnya sehingga berpotensi meningkatkan waktu tunggu/*lead times*. Menurut Karmakar (1993), waktu tunggu merupakan sebuah ukuran yang penting dari performa suatu proses manufaktur. Waktu tunggu yang terlalu lama dapat menyebabkan ketidakpuasan pelanggan. Waktu *idle* operator maupun waktu tunggu dapat dikuantifikasi menjadi biaya. Jika biaya yang disebabkan oleh kedua waktu tersebut besar, maka berpotensi mengakibatkan kerugian bagi perusahaan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah operator A yang optimal pada stasiun kerja pengecatan di unit produksi *Sheet Metal Fabrication* milik PT. ATMI Solo sehingga dapat meminimalkan biaya waktu *idle* operator dan biaya waktu tunggu. Seperti yang disampaikan oleh Subramaniam dkk (2008), faktor yang penting dalam efisiensi jalur produksi adalah pemanfaatan tenaga kerja dan efisiensi mesin produksi. Penentuan jumlah operator pada penelitian ini juga merupakan usaha optimasi pemanfaatan tenaga kerja dan efisiensi mesin produksi.

## 2. Metode

Masalah yang muncul pada suatu sistem produksi dapat diselesaikan dengan metode analitik, numerik atau pendekatan simulasi. Metode analitik atau numerik mengutamakan penyelesaian secara matematis dimana keseluruhan karakteristik entitas maupun variabel yang ada di dalam sistem dapat dideskripsikan secara jelas fungsinya sehingga didapatkan hasil solusi yang pasti. Namun jika masalah yang dihadapi dalam sistem produksi cukup kompleks, sangat dinamis atau sulit untuk ditentukan fungsi matematisnya maka pendekatan simulasi menjadi metode penyelesaian yang disarankan. Metode penyelesaian masalah pada penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi karena hubungan antara jumlah operator dengan waktu tunggu proses dan waktu *idle* operator belum diketahui secara pasti dan fungsi matematisnya sulit untuk ditentukan. Langkah-langkahnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Alur metode penelitian

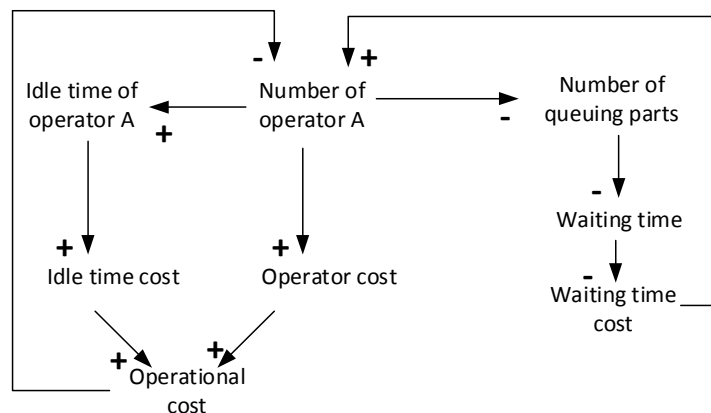
Langkah pertama adalah observasi terhadap sistem produksi pada stasiun kerja pengecatan untuk mendapatkan gambaran mengenai masalah yang ada. Selanjutnya masalah yang ada didefinisikan melalui *causal loop diagram*. Penggunaan diagram ini direkomendasikan oleh Daellenbach dkk (2012). Diagram ini dapat membantu menjelaskan masalah yang terjadi dan memberi petunjuk solusinya. Langkah berikutnya adalah pengambilan data. Data yang diambil digunakan untuk penentuan parameter pada model simulasi sehingga model yang dibangun dapat mendekati kondisi nyatanya. Data yang perlu diambil adalah sebagai berikut:

- Waktu antar kedatangan ( $ta$ ) produk dari stasiun kerja sebelumnya (pencucian),
- Waktu proses pembersihan ( $tb$ ) oleh operator A,
- Waktu proses penyemprotan ( $ts$ ) oleh operator B,
- Biaya waktu tunggu ( $ct$ ) pada proses *powder coating*,
- Biaya waktu *idle* ( $ci$ ) operator.

Langkah berikutnya adalah analisis distribusi data terhadap data waktu proses pembersihan dan penyemprotan sehingga dapat diketahui tipe distribusi dan parameternya. Analisis dilakukan melalui uji *goodness of fit* dengan metode *Chi Square*. Informasi tipe distribusi dan parameter diperlukan sebagai parameter masukan model. Langkah berikutnya adalah membangun model simulasi dengan dukungan perangkat lunak Arena. Arena adalah perangkat lunak untuk pemrograman model simulasi dengan tampilan antar muka berbasis gambar (Guner dan Seker, 2008). Arena dibangun menggunakan bahasa pemodelan Siman. Arena mampu memodelkan sistem produksi dengan baik dan memiliki banyak fitur sehingga banyak digunakan di dunia industri. Model simulasi yang dibangun perlu diverifikasi dan divalidasi sehingga kredibilitasnya baik dan layak digunakan oleh pengambil keputusan. Tahap verifikasi dan validasi model pada penelitian ini menggunakan metode dari Carson (2002). Modifikasi model dilakukan jika dalam proses verifikasi dan validasi masih ditemukan kesalahan atau kekurangan. Model yang telah valid selanjutnya digunakan untuk proses simulasi sehingga dapat diketahui solusi jumlah operator A yang optimal. Solusi yang optimal direkomendasikan untuk diterapkan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Masalah yang ada dapat didefinisikan melalui diagram *causal loop* pada gambar 4 berikut.



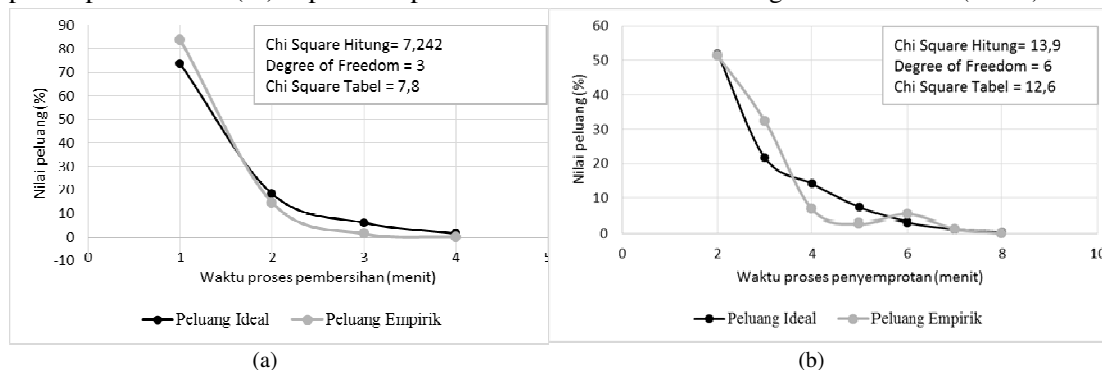
Gambar 4. Diagram *causal loop*

Jumlah operator A yang banyak akan mengurangi jumlah antrian produk yang akan diproses sehingga biaya waktu tunggu menjadi berkurang (aliran sebelah kanan). Di sisi lain, jumlah

operator A yang terlalu banyak mengakibatkan kenaikan biaya operator dan biaya *idle time* (aliran sebelah kiri). Kondisi ini berpengaruh pada kenaikan biaya operasional proses *powder coating*. Kondisi yang optimal adalah ketika biaya waktu tunggudan biaya operasional rendah. Hal tersebut dapat dicapai jika jumlah operator A tepat. Berdasar definisi masalah di atas, maka jumlah operator A dalam sistem perlu diatur. Pengurangan jumlah operator A menjadi dasar penyusunan alternatif solusi, sehingga alternatif solusi yang ditawarkan adalah jumlah operator A sebanyak lima (kondisi awal), tiga, dua atau hanya satu.

Pengambilan data dilakukan melalui pengamatan dan pencatatan waktu terhadap dua kabin *powder coating* pada 29 November 2017 pukul 16.30 – 22.00 WIB (satu *shift* kerja). Berdasarkan informasi dari kepala regu stasiun kerja, konveyor yang membawa produk setengah jadi dari stasiun pencucian memiliki kecepatan maksimal 1,4 meter / menit. Jarak antar hanger untuk menggantungkan produk adalah 1 meter sehingga waktu antar kedatangan produk dari stasiun sebelumnya paling cepat adalah sebesar 0,75 menit. Waktu tersebut pada kondisi nyatanya tidak diterapkan karena sangat sulit untuk bisa diimbangi oleh proses berikutnya. Berdasar diskusi dengan kepala regu, ditentukan faktor pengali 2 sehingga waktu antar kedatangan ( $t_a$ ) menjadi 1,5 menit (termasuk aktivitas *unloading* dari hanger).

Data waktu proses pembersihan berjumlah 68 sampel dan setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 5(a). Menurut hasil uji, nilai *Chi Square* hitung lebih kecil dari nilai *Chi Square* tabel (selang kepercayaan 95%) sehingga data waktu proses pembersihan ( $t_b$ ) dapat disimpulkan berdistribusi Poisson dengan nilai *mean* 1 (menit).



Gambar 5. Hasil uji data: (a) waktu proses pembersihan, (b) waktu proses penyemprotan

Data waktu proses penyemprotan berjumlah 74 sampel dan hasil uji ditunjukkan pada gambar 5(b). Menurut hasil uji, nilai *Chi Square* hitung lebih besar dari nilai *Chi Square* tabel sehingga secara statistik waktu proses penyemprotan tidak berdistribusi Poisson. Namun, karena pertimbangan selisih yang tidak terlalu jauh dan prediksi bahwa jika jumlah sampel diperbanyak akan memperbaiki nilai *Chi Square* hitung, maka pada kasus ini waktu proses penyemprotan ( $t_s$ ) diasumsikan berdistribusi Poisson dengan *mean* 2,6 (menit).

Biaya waktu tunggu pada proses *powder coating* dihitung berdasarkan biaya proses produksi (tidak termasuk biaya operator) per jam pada unit produksi *Sheet Metal Fabrication*. Biaya ini telah ditentukan oleh bagian *marketing* PT. ATMI Solo sebesar Rp 19.000 /jam. Namun, nilai biaya proses khusus untuk proses *powder coating* belum ditentukan. Berdasar saran dari kepala regu stasiun kerja disepakati bahwa proses *powder coating* mengambil porsi biaya antara 30% - 40% dari keseluruhan biaya proses produksi di *Sheet Metal Fabrication* yaitu sebesar Rp 7.000 /jam. Biaya waktu *idle* operator dihitung berdasarkan nilai upah per jam operator yang masih berada pada kisaran Upah Minimum Kota Surakarta Tahun 2018 yaitu sebesar Rp 10.429 /jam dengan jumlah jam kerja selama 40 jam per minggu. Selain data di atas, juga ditemukan bahwa tiap *shift* kerja menghasilkan rata-rata tujuh persen produk yang harus

dirework karena kualitas pengecatan yang tidak lolos pemeriksaan. Daftar data yang digunakan untuk parameter model simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Daftar parameter model

Parameter	Notasi	Karakteristik	Nilai
Waktu antar kedatangan	ta	distribusi normal	mean=1,5 menit
Waktu proses pembersihan	tb	distribusi poisson	mean=1 menit
Waktu proses penyemprotan	ts	distribusi poisson	mean=2,6 menit
Biaya waktu tunggu	ct	konstanta	Rp 7.000/jam
Biaya waktu idle	ci	konstanta	Rp 10.429/jam

Metode verifikasi dan validasi menurut Carson (2002) terdiri dari tiga pengujian, yaitu *Face validity* (pemeriksaan awal terhadap logika dan hasil pengukuran variabel pada model simulasi), *Wide range input parameter test* (pengujian perilaku model dengan pengubahan parameter tertentu) dan *Compare model to real system* (membandingkan antara nilai parameter model dengan sistem nyata). Kriteria pengujian dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil uji verifikasi dan validasi

Pengujian	Kriteria	Hasil
Face validity test	Pengamatan animasi simulasi terhadap:	
	a. Aliran work in process dari stasiun pencucian sampai oven.	normal
	b. Produk rework diutamakan untuk dikerjakan.	sesuai
	c. Keseimbangan beban kerja tiap kabin.	normal
	d. Fungsi pencatatan dan penampilan data dari tiap variabel.	sesuai
Wide range input parameter test	Pengubahan parameter ta menjadi minimal 0,75 menit dan maksimal 3 menit terhadap kriteria Face Validty poin a-c.	normal
Compare model to real system	a. Mean tb model terhadap mean tb sistem nyata.	selisih 8%
	b. Mean ts model terhadap mean ts sistem nyata.	selisih 4%

Berdasar hasil uji verifikasi dan validasi pada tabel 2, dapat dinyatakan bahwa model simulasi yang dibangun valid sehingga layak untuk digunakan oleh pengambil keputusan. Contoh tampilan model simulasi ditunjukkan pada gambar 6. Satu siklus simulasi dijalankan dengan batasan waktu selama satu *shift* kerja yaitu 8 jam. Variabel yang disimulasikan adalah sebagai berikut,

- Produktivitas tiap kabin (p), yaitu jumlah produk yang selesai diproses *powder coating* pada tiap kabin.
- Produktivitas total (P), yaitu total jumlah produk yang selesai diproses oleh stasiun kerja pengecatan.
- Jumlah produk yang harus *dirework*(R), yaitu total jumlah produk yang harus diperbaiki karena tidak lolos pemeriksaan kualitas.
- Biaya total waktu tunggu (CT), yaitu total biaya yang muncul karena produk harus menunggu untuk diproses dalam sistem produksi sehingga pemanfaatan sumber daya menjadi tidak efisien. Dihitung dengan rumus:

$$CT = ct \left( \sum_{i=1}^j tl_i + \sum_{n=1}^m tl_n \right) \quad (1)$$

- e. Biaya total waktu *idle* operator (CI), yaitu total biaya yang muncul karena operator dalam sistem produksi menganggur sehingga pemanfaatan tenaga kerja menjadi tidak efisien. Dihitung dengan rumus:

$$CI = ci \left( \sum_{i=1}^j td_i + \sum_{n=1}^m td_n \right) \quad (2)$$

- f. Biaya total sistem (CS), yaitu total biaya yang muncul dari penjumlahan biaya total waktu tunggu dan biaya total waktu *idle*. Dihitung dengan rumus:

$$CS = CT + CI \quad (3)$$

Keterangan:

CS = biaya total sistem (Rp)

CI = biaya total waktu idle (Rp)

CT = biaya total waktu tunggu (Rp)

$tl_i$  = waktu tunggu proses pembersihan tiap shift kerja (jam)

$tl_n$  = waktu tunggu proses penyemprotan tiap shift kerja (jam)

$ci$  = biaya waktu idle (Rp/jam)

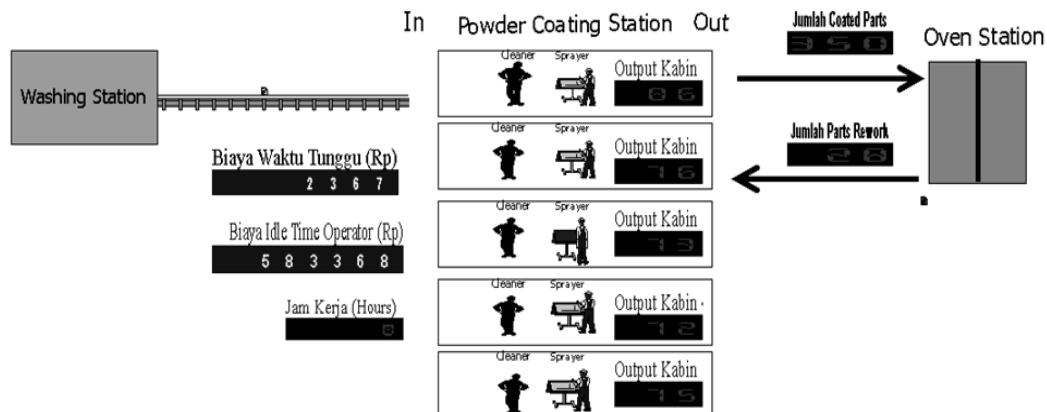
$ct$  = biaya waktu tunggu (Rp/jam)

$td_i$  = waktu idle operator A tiap shift kerja (jam)

$td_n$  = waktu idle operator B tiap shift kerja (jam)

$j$  = jumlah operator A

$m$  = jumlah operator B



Gambar 6. Contoh tampilan model simulasi kondisi awal dengan lima operator A

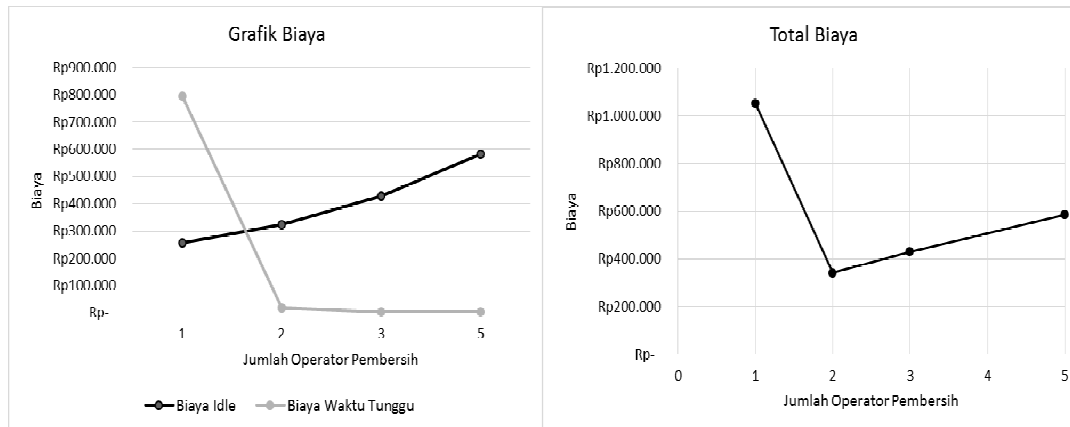
Kondisi yang disimulasikan ada empat, yaitu sistem I dimana sesuai dengan kondisi awal dengan lima operator A, solusi sistem II dengan tiga operator A, solusi sistem III dengan dua operator A dan solusi sistem IV dengan hanya satu operator A. Hasil simulasi direkapitulasi pada tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil simulasi

Kondisi	j	m	P	R	CI	CT	CS
Sistem I -Existing	5	5	350	28	Rp 583.368	Rp 2.367	Rp 585.735
Solusi sistem II	3	5	334	31	Rp 427.915	Rp 2.575	Rp 430.490
Solusi sistem III	2	5	362	28	Rp 324.682	Rp 17.062	Rp 341.744
Solusi sistem IV	1	5	337	34	Rp 256.437	Rp 794.473	Rp 1.050.910

Berdasar hasil simulasi sistem I, dapat diketahui bahwa biaya waktu *idle* operator cukup tinggi (Rp 583.368) jika dibandingkan dengan biaya waktu tunggu proses (Rp 2.367). Hasil simulasi sistem II menunjukkan biaya waktu *idle* operator berkurang menjadi Rp 427.915

dengan biaya waktu tunggu proses Rp 2.575. Simulasi sistem III menghasilkan biaya waktu *idle* operator Rp 324.682 dengan biaya waktu tunggu proses Rp 17.062. Simulasi sistem IV menghasilkan biaya waktu *idle* operator Rp 256.497 dengan biaya waktu tunggu proses meningkat tajam sebesar Rp 794.473. Solusi sistem III memiliki produktivitas total yang paling tinggi dan jumlah produk *rework* yang rendah.



Gambar 7. Grafik perbandingan antara jumlah operator pembersih dengan biaya

Perbandingan biaya yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 7. Gambar di atas menyatakan bahwa operator A (pembersih) yang berjumlah dua orang menghasilkan total biaya yang paling rendah sehingga secara keseluruhan solusi sistem III menjadi yang paling optimal.

#### 4. Simpulan

Penelitian ini berusaha memecahkan masalah jumlah operator pembersih yang optimal pada stasiun kerja pengecatan di unit produksi *Sheet Metal Fabrication* milik PT. ATMI Solo. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan metode pemodelan simulasi melalui perangkat lunak Arena. Berdasarkan hasil model yang disimulasikan, solusi sistem III dengan jumlah operator pembersih sebanyak dua orang menjadi solusi yang paling optimal. Penelitian ini merekomendasikan pengurangan jumlah operator pembersih pada stasiun kerja pengecatan. Operator dapat dialihfungsikan untuk pekerjaan lain yang memerlukan lebih banyak bantuan tenaga kerja sehingga pemanfaatan sumber daya bisa menjadi lebih efisien.

#### Daftar Pustaka

- Bailey, A. G. (1998). The science and technology of electrostatic powder spraying, transport and coating. *Journal of electrostatics*, Vol. 45. No. 2, pp. 85-120.
- Carson, J. S. (2002). Model verification and validation. In *Simulation Conference, 2002. Proceedings of the Winter*, Vol. 1, pp. 52-58.
- Daellenbach, H., McNickle, D., & Dye, S. (2012). *Management science: decision-making through systems thinking*. Palgrave macmillan.
- Guneri, A. F., & Seker, S. (2008). The use of Arena simulation programming for decision making in a workshop study. *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 16. No. 1, pp. 1-11.
- Karmarkar, U. S. (1993). *Manufacturing lead times, order release and capacity loading*. Handbooks in operations research and management science, 4, pp. 287-329.
- PT. ATMI Solo. (2017). *Company Profile*. <http://atmi.co.id/profile/about-us>, diakses pada 15 Desember 2017.
- Subramaniam, S. K. A. L., Husin, S. H. B., Yusop, Y. B., & Hamidon, A. H. B. (2008). Machine efficiency and man power utilization on production lines. In *WSEAS*



*International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering (No. 7). World Scientific and Engineering Academy and Society.*