

# PENINGKATAN FUNGSI OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS SEBAGAI LEAN KEY PERFORMANCE INDICATOR DALAM LINI PRODUKSI

Dani Yuniawan<sup>1</sup>, Annisa Kesy Garside<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Merdeka Malang, Jl Terusan Raya Dieng no 62-64 Malang

<sup>2</sup> Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Dani Yuniawan

Jl. Terusan Raya Dieng no.62-64 Malang

E-mail: [dani.yuniawan@unmer.ac.id](mailto:dani.yuniawan@unmer.ac.id)

## Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan peningkatan fungsi Overall Equipment Effectiveness (OEE) dengan memasukkan informasi tentang estimasi OEE, Value Added (VA) biaya, dan Non-Value Added (NVA) biaya melalui metode simulasi dan metode eksperimen Taguchi. Informasi tambahan ini dapat meningkatkan OEE asli sebagai Key Performance Indicator (KPI) dan bertindak sebagai panduan untuk sebuah perusahaan dalam menentukan perbaikan prioritas diperlukan. Jika sebuah perusahaan hanya mengandalkan perhitungan OEE biasa, ia hanya dapat mengambil keputusan untuk peningkatan prioritas melalui nilai terendah yang diukur dan tidak mengetahui tingkat peningkatan yang diperlukan di lini produksi. Pengambil keputusan di perusahaan perlu mempertimbangkan informasi selain nilai OEE jika perusahaan ingin melihat peningkatan yang signifikan dalam performance lini produksi. Penelitian ini mengusulkan sebuah prosedur yang menggunakan metode simulasi dan metode eksperimen Taguchi, dimana hasil dari penggabungan kedua metode tersebut dapat dilihat estimasi nya sehingga dapat mendukung kebijakan perusahaan untuk continuous improvements.

**Kata kunci:** OEE, Simulasi, Metode Taguchi, KPI, lean, lean manufacturing

## 1. Pendahuluan

Dalam upaya meningkatkan produktivitas sistem manufakturnya, mayoritas perusahaan pada umumnya akan melakukan program perbaikan yang ditujukan untuk mengurangi downtime mesin, meningkatkan keterampilan Operator atau kapasitas produksi mesin, mengurangi produk cacat, mempercepat *lead time*, dan sejenisnya. *Total Productive Maintenance* (TPM) merupakan program peningkatan perbaikan sistem manufaktur perusahaan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas peralatan di pabrik dengan melibatkan semua level karyawan dari berbagai departemen (sistem produksi, pemeliharaan, layanan teknis, dan sebagainya). Filosofi *lean manufacturing* dipilih sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi melalui pengurangan *non value added activity* (*waste*). Oleh karenanya pembentukan metrik yang sesuai untuk pengukuran *key performance indicator* lini produksi sangat dibutuhkan [8] [17] [18]. TPM tidak hanya meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem manufaktur, tetapi juga mempersiapkan perusahaan secara umum untuk dapat bersaing secara ekonomi global [11]

Ada enam penyebab utama hilangnya efektivitas TPM. Diantaranya adalah *setting* dan *adjustment*, *machine failure*, *speed loss*, pelumasan dan *minor stop loss*, pengurangan hasil (dari awal hingga produksi yang stabil), dan kerusakan proses. Menurut Nakajima [7] dan Wang [17], dua yang pertama adalah *downtime* kerugian sebagai mereka mengurangi *availability* peralatan dan mesin, dua berikutnya dianggap sebagai *speed lost* karena mereka mengurangi *performance rate* sistem, sedangkan dua yang terakhir dikategorikan sebagai kerugian karena *defect* atau produk berkualitas rendah yang ditolak.

*Overall Equipment Effectiveness* (OEE) adalah sebuah indikator *performance* yang mengukur enam hal penyebab utama hilangnya efektivitas dalam TPM. OEE langsung mengukur kualitas produk, *losses* dan kemampuan untuk menyelesaikan proses produksi sesuai dengan jadwal (Singh dan Singh, 2012). Sebelum munculnya OEE, hanya *availability* yang dipertimbangkan dalam mengukur *performance* penggunaan mesin dan peralatan. Metodologi OEE adalah pendekatan yang terbukti untuk meningkatkan *performance* peralatan secara keseluruhan [2]. Dari survei [12] menemukan bahwa

OEE memiliki ukuran dasar untuk efisiensi sebagai tujuan awal, untuk menjadi alat untuk meningkatkan efektivitas untuk menganalisis data, untuk mendukung tujuan *continuous improvements*.

OEE yang melibatkan tiga elemen yang telah didefinisikan oleh Nakajima [7] sebagai : (A) *Availability rate*, (P) *Performance rate*, dan (Q) *Quality rate*. Persamaan matematika untuk OEE sebagai berikut,

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$

dimana,

$$A = \frac{(\text{loading time} - \text{downtime})}{\text{loading time}} \quad (2)$$

$$P = \left( \frac{\text{ideal cycle time}}{\text{actual cycle time}} \right) \times \left( \frac{\text{actual cycle time} \times \text{output}}{\text{operating time}} \right) \quad (3)$$

$$Q = \frac{(\text{total number of production} - \text{number of defective products})}{\text{total number of production}} \quad (4)$$

OEE dengan satuan persentase merupakan metrik untuk membandingkan performance peralatan saat ini dengan referensi performance tingkat dunia. Ukuran efektivitas peralatan 85% dikenal sebagai “ OEE kelas dunia. Berikut beberapa perkembangan OEE yang berkaitan dengan perhitungan biaya dengan mengacu pada unsur-unsur OEE adalah sebagai berikut:

- Wudhikarn dkk. , [15] [16] mengusulkan indikator baru yang memprioritaskan mesin bermasalah dengan menunjukkan kerugian produksi dalam unit moneter melalui metode OEE. Sejalan dengan metode OEE, indikator OEE di penelitian ini disajikan dengan tetap masih menganalisis kerugian di 3 elemen OEE, tetapi hasil penelitian mengungkapkan ada perbedaan dalam biaya produksi. *Losses* di setiap elemen OEE terbukti berbeda secara biaya dan tergantung pada penggunaan sumber daya.
- Sheu [10] mengusulkan konsep dan analisis *Overall Input Efficiency* (OIE) untuk menyelesaikan perhitungan efisiensi mesin secara menyeluruh yang disebut *Total equipment efficiency* (TEE). Penelitian ini mengungkapkan bahwa OEE hanya fokus mengukur aspek efisiensi mesin.
- Tekin [14] mengembangkan sebuah metodologi yang disebut “Analisis Biaya Hasil dari Manufaktur Kerugian” (*Determination of costs resulting from manufacturing losses: an investigation in white durables industry*) berdasarkan model ABC *costing* untuk mengukur biaya yang dihasilkan dari kerugian dalam proses manufaktur. Tujuan dari penelitian ini memberikan pendekatan *decision support system* untuk memperkirakan biaya untuk staf manajerial perusahaan dengan prioritas pengurangan *reorder cost* dan memulai pemulihan *manufacturing loss* melalui kegiatan TPM. Dalam penelitian ini, OEE metrik digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi *performance* unit manufaktur individu.

Studi ini bertujuan untuk meningkatkan fungsi konsep OEE dengan memasukkan perhitungan biaya proses produksi untuk dukungan pengambilan keputusan. Hal ini dikarenakan OEE sendiri tidak dilengkapi ukuran kerugian yang terkait dengan biaya produksi. Ini adalah situasi yang jarang terjadi di bidang manufaktur bahwa kerugian 1% *downtime* memiliki dampak bisnis atau keuangan yang sama dengan 1% *efficiency loss* atau kehilangan 1% *quality loss*. Aspek lain yang patut menjadi pertimbangan adalah merancang suatu pengukuran yang universal yang merupakan gabungan dari beberapa pengukuran. Misalnya, biaya waktu mesin *idle* dan pekerjaan yang sedang berjalan dapat digabungkan dalam satu kalkulasi biaya untuk menyederhanakan proses pengukuran [18].

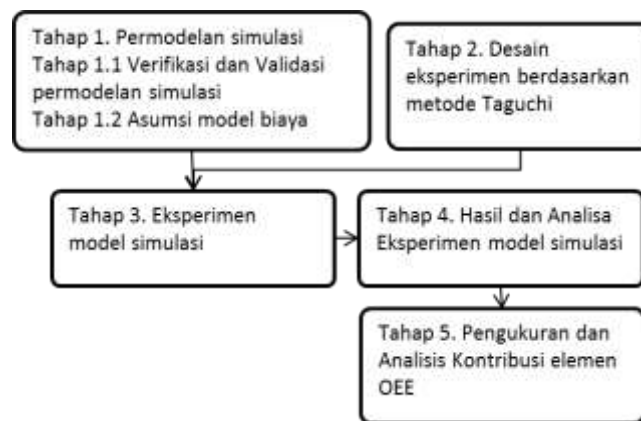
Selanjutnya dengan menggunakan prosedur yang diusulkan dalam penelitian ini dapat dihitung estimasi perbaikan OEE untuk setiap elemen OEE. Estimasi ini akan memberikan informasi tentang semua estimasi elemen OEE termasuk tingkat perbaikan yang dicapai dan jumlah biaya *value added* dan *non-value added* yang terlibat [19].

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi sebagai metode eksperimen statistik untuk membandingkan dan mengukur hasil nilai simulasi OEE dari setiap elemen OEE. Fokus penelitian pada peningkatan OEE melalui penggunaan simulasi dan pendekatan statistik dengan metode Taguchi. Model

simulasi *crimping manufacturing line* (CML) dikembangkan sebagai contoh penerapan prosedur ini. Software simulasi arena digunakan untuk mengembangkan model simulasi CML sebagai media eksperimen untuk mengetahui sampai sejauh mana penambahan fungsi OEE melalui penambahan informasi *value added* dan *non value added cost* dapat memberikan informasi lengkap dalam *decision support system* (DSS) di lini produksi.

## 2. Metode Penelitian

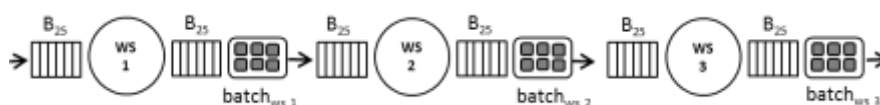
Metodologi penelitian ini merupakan kombinasi simulation dan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi. Sebuah model simulasi dari CML sebagai simulasi model lini produksi sedangkan metode Taguchi berfungsi sebagai metode eksperimen. Dua jenis pengukuran yang kami gunakan dalam percobaan ini. Yang Pertama penggunaan nilai OEE untuk setiap *workstation* (WS) di setiap replikasi percobaan, sedangkan yang kedua adalah dengan pengukuran biaya. Sistem pengukuran biaya tersebut dibagi menjadi dua jenis pengukuran; *value added cost* (VA) dan *non-value added cost* (NVA) [6]. Pengukuran biaya akan dijelaskan lebih detail pada bagian simulasi. Penganggaran asumsi biaya untuk mengetahui prediksi biaya operasional untuk setiap simulasi produksi sudah disediakan dalam perangkat lunak simulasi Arena. Setiap prosedur dalam penelitian ini akan dijelaskan secara bertahap (Gambar 2).



Gambar 2 Skema Metodologi Penelitian

### Tahap 1 - Pemodelan Simulasi

Fokus penelitian akan berada di *crimping manufacturing line* (CML) untuk semua *Coolant hose* di Bagian 2 (Gambar 3). Lini produksi CML melayani 4 jenis tipe produk. CML model simulasi dikembangkan dengan menggunakan software Simulasi Arena untuk sebuah perusahaan *Coolant Hose Manufacturing* (CHM). Parameter untuk CML antara lain: permintaan untuk produk pendingin selang 600 Unit terdiri 300 unit dari pendingin CH4 dan CH6, dan 300 unit dari pendingin CH8 dan CH10. Waktu produksi antara kedatangan adalah 120 menit. Produk per kedatangan untuk setiap produk = 100 unit; kedatangan maksimal = 3 unit; menggunakan distribusi *random triangular* TRIA (menit minimal, menit rerata, menit maksimal), WS1 proses waktu  $t_{0,1} = \text{TRIA}(0.5, 1, 1.5)$ ; Waktu proses WS2  $t_{0,2} = (0.5, 0.75, 1)$ ; Waktu proses WS3  $t_{0,3} = \text{TRIA}(1, 1.25, 1.5)$ . Terdapat pergantian tools (*change over*) terjadi untuk setiap jenis entitas produk yang melalui WS1 dan WS3; dimana total waktu untuk proses *changeover* di WS1 40 menit, sementara di WS3, total waktu untuk *changeover* 20 menit. Model simulasi CML ini menggunakan modul *batch* untuk masing-masing *inbound* dan *outbound workstation*-nya.



Gambar 3 Layout dari Model simulasi *Crimping Manufacturing Line* (CML).

Kapasitas batch di setiap WS di CML adalah 5 unit, dan kapasitas *buffer* untuk setiap WS adalah 25 unit. Setiap WS ditangani oleh satu operator. Waktu rute antara WS adalah 0,3 menit. Jam kerja dalam model CHM ditetapkan 9 jam per hari. Simulasi dilakukan dengan replikasi 10 kali untuk masing-masing eksperimen.

### Tahap - 1.1 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Tahapan paling signifikan dari model simulasi dalam percobaan ini adalah proses verifikasi dan validasi model simulasi. Tujuan verifikasi model adalah untuk memastikan bahwa model dibangun dengan benar. Verifikasi memastikan bahwa model tersebut sesuai dengan spesifikasinya dan bekerja sesuai harapan. [1][4]. Penelitian ini mengacu pada persamaan matematika Little untuk memvalidasi model [9]:

$$w = \delta \cdot \phi \quad (5)$$

dimana ,

- w: Jumlah rerata produk di lini produksi manufaktur (*work in progress* - wip dalam unit)
- $\delta$  : Jumlah rerata produk yang meninggalkan sistem per unit waktu (*throughput*  $\delta$  dalam unit / unit waktu)
- $\phi$  : Waktu rerata entitas dalam sistem model simulasi (waktu aliran  $\phi$  dalam satuan waktu)

Lini produksi memiliki *buffer* dan sebuah *batch* yang untuk tiap WS. Perhitungan untuk waktu tunggu untuk setiap produk harus memperhatikan *buffer*, *batch*, *process time*, dan *route time*. Total waktu aliran rerata untuk setiap WS dapat dihitung sebagai berikut:

$$\phi_{tot} = \phi_B + \phi_{Bq} + \phi_{Bk} + t_0 + t_{route} \quad (6)$$

dimana ,

- $t_{route}$  : waktu rute antar *workstation* (dalam satuan waktu)
- $t_0$  : waktu proses untuk *workstation* (dalam satuan waktu)
- $\phi_B$  : waktu aliran rerata untuk menunggu di *buffer* (dalam satuan waktu)
- $\phi_{Bq}$  : waktu aliran rerata untuk antrian pada saat kedatangan *batch* (dalam satuan waktu)
- $\phi_{Bk}$  : waktu aliran rerata untuk waktu tunggu-ke-*batch* (dalam satuan waktu)

Total waktu produksi dihitung dengan mengalikan WS dengan  $\phi_{tot}$  terpanjang (WS yang menjadi sumber kemacetan di lini produksi) dengan total permintaan / jumlah *batch*. Hasil nya kemudian dibandingkan dengan hasil dari perangkat lunak simulasi Arena dan perhitungan matematis. Animasi model digunakan dalam tahap verifikasi untuk menunjukkan model tersebut mewakili sistem yang sesungguhnya. Validasi Model dilakukan untuk membandingkan output dari proses simulasi dengan perhitungan matematis. Hasil perhitungan dengan hasil output model simulasi yang sudah dilakukan validasi menggunakan interval kepercayaan 95% untuk mengkonfirmasi hasil dari model simulasi (Tabel 1).

**Tabel 1** Validasi model Simulasi CML (Bagian 2 dalam CHM)

Nama di CHM	Hasil Simulasi (dalam menit)	Hasil Perhitungan (dalam menit)	Rentang interval kepercayaan 95%	Status
CML	385.59	380.0199	342.13-519.58	Valid

### Tahap - 1.2 Asumsi Model Biaya

Beberapa asumsi biaya yang digunakan dalam percobaan ini perlu dinyatakan dalam simulasi. Informasi yang dimasukkan ke dalam model simulasi: permintaan 600 unit; dengan asumsi harga crimping di pasar

\$ 9 atau ¥ 843 (asumsi \$ 1 = ¥ 93,67); harga total dihitung sebagai ¥ 843 x 600 unit = ¥ 505.818. Lead time pemenuhan permintaan 27 jam kerja (tiga hari), jumlah pekerja di shop floor 5 pekerja, dan jam kerja per hari 10 jam termasuk tunjangan istirahat 1 jam (540 menit kerja efektif). Alokasi biaya untuk tiap item anggaran berasal dari harga total yang dihitung (¥ 505.818) dikalikan dengan persentase biaya anggaran untuk setiap item, sedangkan nilai persentase untuk setiap item anggaran diasumsikan (Tabel 2). Mata uang Yen digunakan untuk menyesuaikan dengan data yang ada dari perusahaan. Tidak menjadi masalah jika mata uang dari negara lain digunakan, sebab fokus penelitian ini adalah pada sistem yang dibangun untuk menambahkan fungsi OEE.

**Tabel 2** Asumsi Anggaran untuk Simulasi model CML

Jenis Anggaran	%	Yen per jam	Yen per Unit
% Anggaran untuk pekerja	25%	¥ 936,70	¥ 42,15
% anggaran untuk material langsung	10%	¥ 3.12	¥ 84.30
% anggaran untuk biaya penyimpanan	5%	¥ 1,56	¥ 42,15
% Anggaran untuk VA <i>process</i>	10%	¥ 3.12	¥ 84.30
% anggaran untuk biaya menunggu	5%	¥ 1,56	¥ 42,15
% anggaran untuk transportasi	5%	¥ 1,56	¥ 42,15
TOTAL	65%		

**Tabel 3** Definisi Asumsi Biaya dalam Model Simulasi untuk WS

Jenis Biaya	Definisi Peran dalam model Simulasi	Nilai Asumsi	Catatan
<i>Busy / hour</i>	Biaya per jam untuk sumber daya (mesin atau peralatan) yang memproses entitas. Selama waktu ketika sibuk, biaya akan bertambah berdasarkan biaya saat <i>busy/hour</i> nya.	¥ 936,70	Biaya VA
<i>Idle / hour</i>	Biaya per jam <i>resource</i> yang menganggur. Sumber daya (mesin atau peralatan) menganggur saat tidak memproses entitas. Selama waktu ketika <i>idle</i> , biaya akan menumpuk berdasarkan biaya <i>idle / hour</i> .	¥ 936,70	Biaya NVA
<i>Per use (per product)</i>	Biaya sumber daya. Setiap kali sumber daya dialokasikan ke suatu entitas, hal itu akan menimbulkan biaya per penggunaan.	¥ 42,15	Biaya VA

**Tabel 4** Asumsi Biaya dalam Model Simulasi untuk Setiap Produk

Jenis biaya	Definisi Peran dalam model Simulasi	Nilai Asumsi	Catatan
<b>Biaya Penyimpanan / Jam</b>	biaya perjam pengolahan entitas melalui sistem. Biaya ini timbul saat entitas berada di mana saja dalam sistem.	¥ 1,56	Biaya NVA
<b>Biaya VA (per produk)</b>	Nilai biaya awal yang akan diberikan ke atribut nilai tambah biaya entitas. Atribut ini menambah biaya yang timbul ketika entitas menghabiskan waktu dalam aktivitas nilai tambah.	¥ 84.3	Biaya VA
<b>Biaya Menunggu (per produk)</b>	Nilai biaya awal yang akan ditetapkan ke atribut biaya tunggu entitas. Atribut ini menambah biaya yang timbul ketika suatu entitas menghabiskan waktu dalam aktivitas menunggu, misalnya menunggu untuk dikumpulkan atau menunggu sumber daya pada modul Proses.	¥ 42,15	Biaya NVA
<b>Biaya Transfer (per produk)</b>	Nilai biaya awal yang akan ditetapkan ke atribut biaya transfer entitas. Atribut ini menambah biaya yang timbul ketika entitas menghabiskan waktu dalam aktivitas transfer.	¥ 42,15	Biaya VA

Untuk tiap asumsi biaya dari Tabel 2 ditugaskan ke tiap entitas produk (Tabel 3 dan Tabel 4). Secara umum, terdapat dua jenis biaya operasional: biaya *value added* (VA), dan biaya *non value added* (NVA). Biaya VA adalah biaya yang terkait dengan aktivitas apa pun yang menghasilkan nilai tambah untuk produk. Contoh kegiatan ini adalah proses produksi utama dan pengangkutan produk ke *workstation* (WS) berikutnya. Sedangkan biaya NVA, adalah biaya terkait dengan aktivitas apa pun yang tidak memberikan nilai tambah apapun pada produk. Contoh dari aktivitas ini adalah operator yang

mengganggu dan menunggu. Kedua jenis biaya ini ditetapkan ke setiap entitas (produk) dan setiap WS (mesin atau peralatan). Biaya di setiap WS dan produk entitas ditampilkan pada Tabel 3 dan 4. Istilah 'entitas' digunakan dalam model simulasi CML, yang memiliki arti yang sama dengan produk.

### Tahap - 2 Desain Eksperimen Berdasarkan Metode Taguchi

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur karakteristik elemen OEE di CML menggunakan metode simulasi, dan menganalisis hasilnya dengan metode Taguchi. Untuk mencapai hal ini, faktor kontrol dalam eksperimen ini dihubungkan dengan elemen OEE yaitu (A) *Availability*, (P) *Performance*, dan (Q) *Quality*, dengan dua level variasi untuk tiap faktor kontrolnya, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5, variasi dalam faktor kontrol diimplementasikan dalam bentuk eksperimen *Orthogonal Array* (OA). Simulasi eksperimen dilakukan 10 kali ulangan per eksperimen, dengan setiap variasi faktor kontrol. Dalam rangka untuk mengukur faktor-faktor kontrol untuk A, P, dan Q berkaitan dengan "failure," "speed loss," dan "defect product", elemen OEE tersebut masing-masing dimasukkan ke dalam model simulasi CML di software simulasi Arena sesuai dengan faktor kontrol dalam eksperimen OA dengan metode Taguchi (Tabel 5). Semua *leveling* faktor kontrol memanfaatkan distribusi acak *triangular* untuk kemudahan melakukan *leveling* faktor kontrol, untuk *performance rate*, *leveling* mencerminkan kapasitas mesin. (Tabel 5).

Tabel 5 Matriks Eksperimen untuk CML

Nama	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2
A	<i>Availability</i> (A) untuk setiap WS, menggunakan <i>triangular random distribution</i>	WS1 TRIA (30, 45, 60)	WS1 TRIA (45, 60, 75)
		WS2 TRIA (15, 20, 30)	WS2 TRIA (20, 25, 30)
		WS3 TRIA (20, 30, 40)	WS3 TRIA (30, 40, 50)
P	<i>performance</i> (P) untuk setiap WS, menggunakan <i>triangular random distribution</i>	WS1 TRIA (0,5, 1, 2,5)	WS1 TRIA (0,5, 1,5, 2,5)
		WS2 TRIA (0,5, 0,75, 3)	WS2 TRIA (0,5, 1,5, 3)
		WS3 TRIA (1, 1,25, 3)	WS3 TRIA (1, 1,75, 3)
Q	<i>Quality rate</i> (Q)	95%	99%

Dalam mendesain percobaan, diperlukan perhitungan *Degree Of Freedom* (DOF) untuk menentukan OA yang digunakan dalam eksperimen ini [5][13]. Untuk faktor A, B dan C, jika jumlah level  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$ , maka  $DOF =$  banyaknya level-1, seperti yang diilustrasikan oleh  $A = n_A - 1$ . Percobaan ini terdiri dari tiga faktor kontrol dengan dua tingkat variasi. Perhitungan DOF untuk tiga faktor kontrol dan tiga interaksi (AXP, AxQ, dan PxQ) dapat digambarkan sebagai  $(3x(3-1)) + (3x(2-1) x (2-1)) = 6$ . Berdasarkan perhitungan DOF, OA yang sesuai untuk percobaan ini  $L_8(2^7)$ . OA ini terdiri dari delapan percobaan dengan dua tingkat untuk setiap faktor kontrol dan maksimal 7 faktor kontrol atau interaksi. Penggunaan eksperimen ini menggunakan faktor kontrol untuk mengukur elemen OEE *availability*, *performance* dan *quality* [3]. Metode Taguchi tidak diterapkan seluruhnya karena tujuan utama adalah untuk mengidentifikasi elemen OEE dengan kontribusi tertinggi berdasarkan variasi dalam *leveling* faktor kontrol. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, metode Taguchi tidak digunakan untuk optimasi. Pengukuran biaya VA dan NVA untuk setiap WS dan setiap produk menggunakan prosedur penilaian OEE.

### Tahap - 3 Eksperimen Model Simulasi

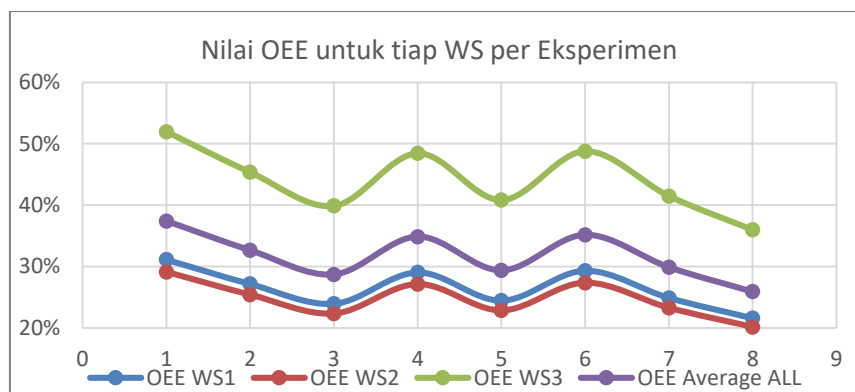
Simulasi CML dilakukan dalam delapan percobaan  $L_8(2^7)$  menyesuaikan dengan *orthogonal array* dari metode Taguchi. Setiap percobaan dilakukan replikasi sepuluh kali *running* model Simulasi dengan menggunakan *software* simulasi Arena ver. 13.9. Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi analisa respon dan analisis hasil eksperimen, yang mana berhubungan dengan pengukuran kontribusi elemen OEE.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan dari penelitian ini melingkupi tahapan 4, tahapan 5 dan tahapan 6 dari studi tentang usulan peningkatan fungsi OEE, melanjutkan tahapan dari keseluruhan penelitian ini.

### 3.1 Tahap - 4 Hasil dan Analisa Eksperimen Model Simulasi

Tabel 6 dan Tabel 7 mencerminkan hasil dari eksperimen orthogonal array (OA) metode Taguchi. Tabel 6 menggambarkan setiap variasi, termasuk nilai OEE untuk setiap workstation (WS) untuk tiap jenis eksperimen. Gambar 4, merupakan ilustrasi dari Tabel 6, berfungsi untuk menyederhanakan deskripsi penjelasan. Pada Gambar 4 dan Tabel 6, rerata nilai OEE untuk semua WS dimana kondisi tertinggi nilai OEE itu dihasilkan dari eksperimen pertama dan terendah dihasilkan dari eksperimen kedelapan. Untuk biaya VA, kondisi terendah dihasilkan di eksperimen pertama dan biaya tertinggi di eksperimen keempat. Adapun biaya NVA, kondisi terendah dihasilkan di eksperimen pertama dan biaya NVA tertinggi untuk eksperimen kedelapan. Dari Tabel 6 dan Gambar 4, tercatat nilai OEE tinggi tidak menjamin nilai value added cost (VA) akan menghasilkan kondisi yang sama pada hasil eksperimen. Dari Tabel 6 dan Gambar 4 dapat diasumsikan bahwa semakin tinggi nilai OEE maka semakin rendah biaya NVA.



**Gambar 4** pengukuran eksperimen OEE

Kondisi untuk nilai OEE terkecil di model simulasi CML terletak di WS2 (Tabel 7). Tabel ini juga mengungkapkan bahwa WS3 mencatat nilai OEE tertinggi dengan biaya NVA terendah dan biaya VA tertinggi. Hasil ini sesuai dengan yang ada di Tabel 6.

**Tabel 6** Eksperimen *Orthogonal Array (OA)*

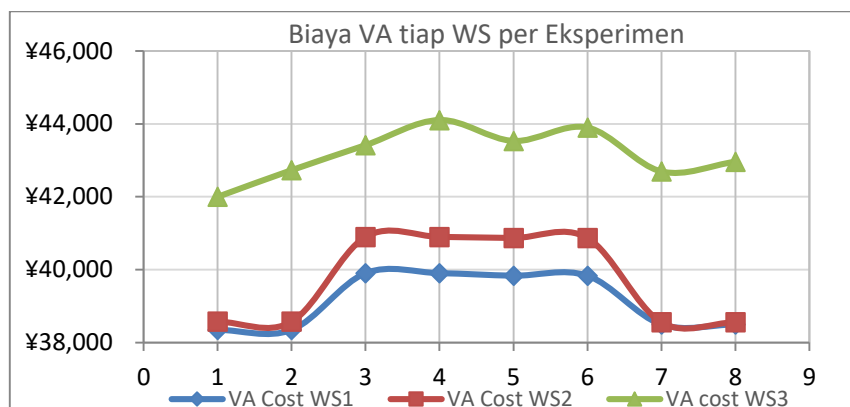
EXP	A	P	Q	OEE WS1	OEE WS2	OEE WS3	OEE Rerata SEMUA WS	VA Biaya Semua WS	Biaya NVA Semua WS
1	1	1	1	31%	29%	52%	37%	118926	24522
2	1	1	2	27%	25%	45%	33%	119657	36990
3	2	2	1	24%	22%	40%	29%	124220	40653
4	2	2	2	29%	27%	48%	35%	124907	25705
5	1	2	1	24%	23%	41%	29%	124235	39038
6	1	2	2	29%	27%	49%	35%	124602	28225
7	2	1	1	25%	23%	41%	30%	119751	40243
8	2	1	2	22%	20%	36%	26%	120016	52542

**Tabel 7** Rerata nilai elemen OEE untuk setiap WS

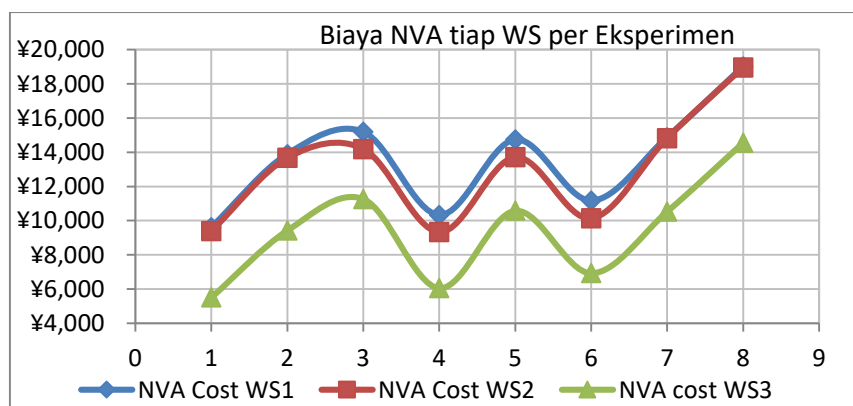
Rerata untuk	Availability	Performance	quality	OEE	Biaya VA	Biaya NVA
WS1	87%	33%	97%	26%	¥ 39.147,5	¥ 13.604,0
WS2	94%	28%	97%	25%	¥ 39.724.6	¥ 13.026,8
WS3	92%	52%	97%	44%	¥ 43.167.1	¥ 9.358,9

Di sisi lain, meskipun WS2 mencatat nilai OEE terendah, WS2 tidak memiliki biaya NVA yang tinggi. WS2 dan WS1 memiliki sedikit perbedaan untuk nilai OEE, dan ini dapat disebabkan oleh "random effect" saat dilakukan menjalankan replikasi simulasi. Namun ada, perbedaan signifikan yang teramati antara WS3 dan WS2 dan WS1 untuk nilai OEE, biaya VA, dan biaya NVA. Eksperimen ketiga dipengaruhi oleh dominasi *performance rate* dan *availability rate* di level 2, eksperimen

kelima sebagian besar dipengaruhi oleh kondisi performance rate di level 2, sedangkan eksperimen kedelapan - yang mencatat nilai OEE terendah - dipengaruhi oleh dominasi *availability rate* di level 2 (Tabel 5 matriks eksperimen). Gambar 4 mengungkapkan *availability rate* mendominasi di hampir semua eksperimen. Biaya VA berkaitan erat dengan semua kegiatan di dalam WS yang terkait dengan kegiatan produksi utama. Dalam Gambar 4, tampak bahwa biaya VA didominasi oleh *performance rate*, biaya VA naik seiring dengan durasi yang lebih lama dari *performance rate*. Ini jelas terlihat pada eksperimen ketiga hingga eksperimen keenam. Hasil ini dapat diverifikasi dengan mengacu pada Tabel 6, dijumpai di eksperimen ketiga hingga eksperimen keenam, kondisi *performance rate* dalam level 2 menghasilkan waktu proses yang lebih panjang di setiap WS. Pada Gambar 4, dapat diamati bahwa nilai tertinggi OEE (WS3) menghasilkan biaya VA tertinggi. Gambar 5 menunjukkan biaya NVA untuk setiap WS, dan menunjukkan biaya NVA di tiap WS tiap eksperimen lebih tinggi daripada biaya VA (Gambar 4).



Gambar 4 Biaya VA untuk tiap WS



Gambar 5 Biaya NVA untuk tiap WS

Jika Gambar 5 (biaya NVA) dibandingkan dengan Gambar 3 (nilai OEE), bentuk grafiknya akan menjadi kontradiksi. Hal ini menandakan bahwa makin rendah nilai OEE maka makin tinggi nilai biaya NVA, begitu pula sebaliknya.

### 3.2 Tahap - 5 Pengukuran dan Analisis Kontribusi Elemen OEE

Tujuan dari tahap ini untuk mengidentifikasi ketiga elemen OEE yang memiliki pengaruh tertinggi pada nilai OEE. Ada tiga jenis pengukuran untuk percobaan ini, seperti yang disebutkan sebelumnya. Pengukuran pertama nilai OEE ditunjukkan di Tabel 8; pengukuran kedua dengan biaya VA, ditunjukkan di Tabel 9; dan pengukuran ketiga dengan biaya NVA, ditunjukkan di Tabel 10. OEE pada Tabel 8 menunjukkan bahwa unsur *availability rate* memiliki delta nilai tertinggi untuk kesenjangan antara level 1 dan level 2, sedangkan unsur *performance rate* memiliki delta terendah. Pengukuran pada Tabel 8 adalah nilai OEE untuk semua WS. Nilai delta masing masing WS menunjukkan bahwa unsur *availability* memiliki nilai (delta) OEE 3,8%. Nilai delta menunjukkan



perbedaan mutlak di antara setiap level. Nilai delta sebesar 3.8% dari level 1 sampai level 2 bernilai negatif karena nilai OEE berkurang dari 33,7% menjadi 29,8%. Elemen Performance dan Quality menunjukkan hasil yang bertentangan karena nilainya meningkat dari Level 1 untuk Level 2.

**Tabel 8** Percobaan Rerata Respon untuk OEE di sebuah WS

<i>Level</i>	<i>Availability</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality</i>
<b>1</b>	33,7%	31,5%	31,4%
<b>2</b>	29,8%	32,0%	32,2%
<b>Delta</b>	3,8%	0,6%	0,8%
<b>Rank</b>	1	3	2

**Tabel 9** Percobaan Rerata Respon untuk VA Biaya di seluruh WS (dalam Yen)

<i>Level</i>	<i>Availability</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality</i>
<b>1</b>	121855	119588	121783
<b>2</b>	122223	124491	122295
<b>Delta</b>	368	4903	512
<b>Rank</b>	3	1	2

**Tabel 10** Percobaan Rerata Respon untuk NVA Biaya di seluruh WS (dalam Yen)

<i>Level</i>	<i>Availability</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality</i>
<b>1</b>	32194	38574	36114
<b>2</b>	39786	33405	35866
<b>Delta</b>	7592	5169	248
<b>Rank</b>	1	2	3

Dengan demikian, nilai OEE akan dapat meningkat atau menurun seiring dengan penambahan nilai delta, dan hasil ini akan bergantung pada bagaimana eksperimen dirancang. Namun demikian, jelas bahwa dengan prosedur ini, kontribusi elemen OEE terhadap nilai OEE dapat diukur dengan desain eksperimen dan simulasi model. Pada Tabel 9, elemen OEE diukur melalui biaya VA (dalam mata uang JPY). Nilai delta pada tabel tersebut mengungkapkan bahwa elemen *performance* memiliki nilai delta tertinggi diikuti oleh elemen *quality* dan akhirnya elemen *availability*. Ini mengindikasikan bahwa biaya VA memiliki kontribusi tertinggi penyumbang elemen performance OEE. Dengan kata lain, nilai delta berpengaruh terhadap elemen *performance* lebih dari elemen-elemen lain dalam OEE. Dalam Tabel 10, elemen OEE diukur melalui biaya NVA. Nilai delta tertinggi adalah elemen *availability*, diikuti oleh elemen *performance*. Kedua elemen menunjukkan proporsi tinggi untuk nilai delta dibandingkan dengan elemen *quality*. Hal ini menunjukkan bahwa elemen *availability* memiliki kontribusi terbesar untuk biaya NVA, diikuti oleh elemen *performance*.

#### 4. Kesimpulan

Skema peningkatan fungsi OEE ini dapat memberi perusahaan prediksi informasi untuk pengambilan keputusan terkait prioritas pengembangan di lini produksi. Dengan menggunakan metode Taguchi dan simulasi sebagai percobaan skema ini dapat mengukur dan memperkirakan kontribusi untuk setiap elemen OEE untuk nilai OEE beserta prediksi biaya VA dan biaya NVA. Prosedur ini dapat diterapkan di WS tertentu atau di lini produksi jika perusahaan memiliki dari lebih dari satu lini produksi. Ada tiga jenis penambahan informasi. Yang pertama adalah pengukuran nilai OEE itu sendiri, yang kedua adalah pengukuran kontribusi elemen OEE, ketiga adalah pengukuran prediksi biaya VA, dan biaya NVA. Ketiganya memberikan prediksi pengukuran untuk setiap elemen OEE untuk mengamati sejauh mana pengaruh eksperimen simulasi terhadap elemen dan nilai OEE. Rencana kerja ke depan adalah melanjutkan prosedur yang sama dan memasukkan lebih banyak level eksperimen untuk mengamati karakteristik elemen OEE dalam kaitannya dengan nilai OEE..

#### Referensi

- [1] Altiok, T., and Melamed, B. (2010) 'Simulation Modelling and Analysis with ARENA', Academic Press, Burlington

- 
- [2] Badiger, A.S., Gandhinathan, R., Gaitonde, V.N., (2008), "A methodology to enhance equipment performance using the OEE measure". *European J. of Industrial Engineering* 2008 - Vol. 2, No.3 pp. 356 - 376
- [3] Chao-Ton Su, (2013), *Quality Engineering – Offline Methods and Applications*, CRC Press pp. 67; Chapter 4; example 4.5, Taylor & Francis Group, U.S.
- [4] Kelton W., and Sadowski R., (2009) *Simulation with Arena*, McGraw-Hill Education, New York
- [5] Mason, R. L., and Gunst, R.F., (2003), *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [6] McNair, C.J., Polutnik, L. & Silvi, R., 2001. 'Cost management and value creation: the missing link', *European Accounting Review*, 10(1), pp.33–50. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09638180122848>, (accessed 1 October 2013)
- [7] Nakajima, S., *Introduction to total productive maintenance*, Productivity Press, 1988, Cambridge, MA
- [8] Raja, P.N, Kannan, S.M, (2007) "Evolutionary programming to improve yield and overall equipment effectiveness of casting industry". *J. Eng. Appl. Sci.* 2(12), 1735–1742
- [9] Rooda, J.E., and Vervoort, J., (2007), *Analysis of Manufacturing Systems using  $\chi$  1.0*, Technische Universiteit Eindhoven, Netherland
- [10] Sheu, D.D., "Overall Input Efficiency and Total Equipment Efficiency," *Semiconductor Manufacturing*, *IEEE Transactions on*, vol.19, no.4, pp.496, 501, Nov. 2006 doi: 10.1109/TSM.2006.884718
- [11] Singh, S.K. & Singh, M.K., 2012. "Evaluation of Productivity, Quality and Flexibility of an Advanced Manufacturing System". *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 93(1), pp.93–101. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s40032-011-0002-0> [Accessed May 28, 2013].
- [12] Sohal, A., Olhager, J., O'Neill, P., & Prajogo, D. (2010). Implementation of OEE—issues and challenges. *Int. Competitive and Sustainable Manufacturing Products and Services* (pp. 1-8). Poliscrypt.
- [13] Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y, *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, Appendix C: Orthogonal Arrays and Linear Graphs for Chapter 38, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. 2007, 597-608
- [14] Tekin, I., "Determination of Costs Resulting from Manufacturing Losses: An Investigation in White Durables Industry", *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012*, pp. 352-361
- [15] Wudhikarn, R., Smithikul, C. and Manopiniwes, W., *Developing Overall Equipment Cost Loss Indicator*, *Proceedings of the 6th CIRP-sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, (George Q. Huang (ed)), 2010, pp. 557-567, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [16] Wudhikarn, R., (2010) b, *Overall Weighting Equipment Effectiveness*, pp.23-27, *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2010 IEEE International Conference on Macau, Hongkong
- [17] Wang, F., 2005. "Applying a Control Chart to the Learning Curve in TPM Adoption", *Quality Technology & Quantitative Management*. (QTQM ©ICAQM), Vol. 2, No. 2, pp.237–248.
- [18] Yuniawan D, Ito T, Bin ME. Calculation of overall equipment effectiveness weight by Taguchi method with simulation. *Concurrent Engineering Research Application*. 2013; 21(4):296-306. doi:10.1177/1063293X13507938
- [19] Yuniawan, Dani & Ito, Teruaki & Mohamad, Effendi, Overall equipment effectiveness estimation for priority improvement in the production line. *International Journal of Internet Manufacturing and Services*. 2014; 3(1). 279-299. 10.1504/IJIMS.2014.070694.