

Analisis Jumlah *Welder* dan Operator *Welding Preparation* yang Optimal untuk Mengurangi *Bottleneck* pada Proses *Welding*

Agnes Yosephine Kosasih¹, I Nyoman Sutapa²

Abstract: PT XYZ is a manufacturing company engaged in the manufacture of heat exchangers. PT XYZ has a make to order demand fulfillment strategy with large product variations. The existing production process at the company consists of several lines, one of which is the SS-CS line. SS-CS line has a bottleneck in one of the processes, which is welding process. The welding process itself is done by welder and welding preparation operator. The number of welders and welding preparation operators is considered unbalanced, causing a bottleneck in the welding process. The purpose of this research is to find the optimal number of welder and welding preparation operator so that the welding process no longer having bottleneck. The optimal number of welder through calculation result and simulation is 16 people while operator welding preparation is 7 people. The output produced with the optimal number of workers can reach more than 2 times the original condition. The average utility of both types of workers is over 90% and is almost balanced with a 5.98% difference. By implementing this proposal, the company can save Rp. 504,523.90 per month in terms of not needing anymore overtime costs that have been issued and the salary addition of workers to be issued.

Keywords: Measurement of Work Time, Simulation, Number of Optimal Workers, Reducing Bottleneck

Pendahuluan

Heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk mentransfer panas antara benda padat dan cairan, atau antara dua atau lebih cairan menurut Sadik & Hongtan [1]. PT XYZ merupakan perusahaan global yang bergerak dalam bidang pembuatan *heat exchanger* selama puluhan tahun. PT XYZ memiliki strategi pemenuhan permintaan *make to order* dengan variasi produk yang besar. PT XYZ memproduksi komponen dari *heat exchanger*, komponen utama yang diproduksi adalah *sheet metal*, *header and tube*, dan *fin*. Komponen yang telah diproduksi kemudian akan dirakit oleh perusahaan sehingga menjadi satu kesatuan. Perusahaan melakukan beberapa proses produksi, salah satunya adalah *proses welding*. Pentingnya proses dan kualitas dari hasil *welding* yang dilakukan menyebabkan proses *welding* menjadi salah satu proses yang penting namun memakan waktu yang lama pada proses produksi perusahaan.

Bottleneck yang terjadi pada salah satu lintasan perakitan PT XYZ adalah pada proses *welding*. Proses *welding* sendiri memiliki sub proses, yaitu proses *welding preparation* yang berguna untuk menyiapkan saluran atau pipa yang akan

disambungkan. Perbandingan *welder* dengan operator *welding preparation* sekarang adalah 14 *welder* dan 3 operator *preparation*. Jumlah pekerja yang ada sekarang belum mencukupi untuk mengatasi masalah *bottleneck* tersebut.

Selama ini, permintaan untuk menambah jumlah *welder* cukup besar dengan harapan menambah jumlah *welder* dapat mengurangi *bottleneck* yang ada. Sedangkan menambah *welder* memerlukan usaha yang cukup besar bagi perusahaan, berupa melakukan *training* dan mencari *welder* dengan kemampuan yang memenuhi kualifikasi. Oleh karena itu, ingin diketahui apakah penambahan jumlah *welder* adalah solusi yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan *bottleneck* yang dihadapi, atau *bottleneck* dapat diselesaikan dengan menambah jumlah operator *welding preparation*. Pertimbangan juga dilakukan dengan memperhitungkan biaya penambahan pekerja dengan biaya *overtime* atau biaya lembur, karena selama ini perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup besar untuk membayar biaya *overtime*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah *welder* dan operator *welding preparation* yang optimal sehingga proses *welding* tidak mengalami *bottleneck*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah diameter pipa mempengaruhi waktu proses

^{1,2} Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: agnesyosephine4@gmail.com, mantapa@petra.ac.id

welding secara signifikan dan untuk mengetahui apakah waktu proses welding dari welder kelas 1, 2, dan 3 berbeda secara signifikan. Batasan pada penelitian ini adalah data waktu proses yang diambil hanya waktu proses welding dan welding preparation pada lintasan SS-CS, material atau komponen yang diperlukan untuk proses welding diasumsikan telah tersedia, dan peninjauan bottleneck hanya dilakukan pada proses welding saja.

Metode Penelitian

Stopwatch Time Study

Stopwatch time study bertujuan untuk mencari waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan sebuah pekerjaan dalam level tertentu menurut Russel & Taylor [2]. Salah satu penerapan dari stopwatch time study adalah perhitungan waktu baku. Waktu baku adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi sebuah produk pada stasiun kerja dalam tiga kondisi, yaitu operator yang telah terlatih dan berkualifikasi, bekerja dalam kondisi normal, dan mengerjakan tugas yang spesifik (Meyers, [3]). Uji normalitas, uji keseragaman, dan uji kecukupan merupakan syarat yang harus dipenuhi terlebih dahulu sebelum pencarian waktu baku dilakukan.

Uji kecukupan data dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 (Barnes, [4]). Data dinyatakan cukup jika hasil uji kecukupan data (n') lebih besar dari pada data yang telah diambil (N).

$$n' = \left(\frac{k}{s} \frac{\sqrt{N \times \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \tag{1}$$

Performance rating adalah teknik untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pekerjaan oleh operator normal (Nakayama, [5]). Penilaian performance rating dilakukan karena kemampuan, kondisi, konsistensi, dan usaha pekerja dapat mempengaruhi waktu pengerjaan suatu proses. Performance rating akan digunakan sebagai alat untuk menyesuaikan data waktu yang dimiliki menjadi waktu normal atau waktu rata-rata (Karger, [6]). Tabel 1 akan menjadi acuan untuk melakukan penilaian terhadap kinerja operator.

Penilaian performance rating menurut Tabel 1 kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan waktu normal. Perhitungan waktu normal akan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2 (Sutalaksana, [7]).

$$Wn = Ws \times p \tag{2}$$

Tabel 1. Westinghouse

Westinghouse System Skill Ratings		
+0.15	A1	Superskill
+0.13	A2	Superskill
+0.11	B1	Excellent
+0.08	B2	Excellent
+0.06	C1	Good
+0.03	C2	Good
0.00	D	Average
-0.05	E1	Fair
-0.10	E2	Fair
-0.16	F1	Poor
-0.22	F2	Poor

Westinghouse System Effort Ratings		
+0.13	A1	Excessive
+0.12	A2	Excessive
+0.10	B1	Excellent
+0.08	B2	Excellent
+0.05	C1	Good
+0.02	C2	Good
0.00	D	Average
-0.04	E1	Fair
-0.08	E2	Fair
-0.12	F1	Poor
-0.17	F2	Poor

Westinghouse System Condition Ratings		
+0.06	A	Ideal
+0.04	B	Excellent
+0.02	C	Good
0.00	D	Average
-0.03	E	Fair
-0.07	F	Poor

Westinghouse System Consistency Ratings		
+0.04	A	Perfect
+0.03	B	Excellent
+0.01	C	Good
0.00	D	Average
-0.02	E	Fair
-0.04	F	Poor

Pekerja tidak mungkin bekerja tanpa adanya gangguan, oleh karena itu penilaian allowance dibutuhkan untuk menentukan waktu baku bagi pekerja (Barnes, [4]). Gangguan yang menyebabkan diperlukannya penambahan waktu kerja dapat dikelompokkan menjadi tiga. Pertama adalah gangguan personal, seperti kebutuhan untuk minum dan pergi ke toilet. Kedua adalah kelelahan yang dapat mempengaruhi bahkan orang terkuat sekalipun, dan yang terakhir adalah unavoidable delay, seperti adanya alat yang rusak, interupsi dari supervisor, variasi material, dan kendala penggunaan alat (Freivalds, [8]). Penilaian allowance akan dilakukan berdasarkan pada Tabel 2.

Penilaian allowance kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan waktu baku. Waktu baku adalah waktu siklus yang telah disesuaikan dengan kinerja dari pekerja dan disesuaikan dengan kelonggaran yang diberikan. Waktu baku akan dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 (Wignjosobroto, [9]).

$$Wb = Wn \times \left(\frac{100\%}{100\% - \%allowance} \right) \tag{3}$$

Tabel 2. Allowance

ILO Recommended Allowances	
A. Constant allowances:	
1. Personal allowance	5
2. Basic fatigue allowance	4
B. Variable allowances:	
1. Standing allowance	2
2. Abnormal position allowance:	
a. Slightly awkward	0
b. Awkward (bending)	2
c. Very awkward (lying, stretching)	7
3. Use of force, or muscular energy (lifting, pulling, or pushing):	
Weight lifted, lb:	
5	0
10	1
15	2
20	3
25	4
30	5
35	7
40	9
45	11
50	13
60	17
70	22
4. Bad light:	
a. Slightly below recommended	0
b. Well below	2
c. Quite inadequate	5
5. Atmospheric conditions (heat and humidity)—variable	0-100
6. Close attention:	
a. Fairly fine work	0
b. Fine or exacting	2
c. Very fine or very exacting	5
7. Noise level:	
a. Continuous	0
b. Intermittent—loud	2
c. Intermittent—very loud	5
d. High-pitched—loud	5
8. Mental strain:	
a. Fairly complex process	1
b. Complex or wide span of attention	4
c. Very complex	8
9. Monotony:	
a. Low	0
b. Medium	1
c. High	4
10. Tediousness:	
a. Rather tedious	0
b. Tedious	2
c. Very tedious	5

Simulasi

Simulasi adalah memodelkan proses atau sistem sedemikian rupa sehingga model menyerupai keadaan yang sebenarnya. Dengan mempelajari keadaan dari model simulasi dapat menjadi pengetahuan akan keadaan asli yang ada (Schriber, [10]). Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ProModel. Model yang dibuat kemudian akan divalidasi dan diverifikasi terlebih dahulu.

Verifikasi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah logika yang digunakan telah tepat serta untuk mengetahui apakah terdapat kesalahan atau tidak pada simulasi yang dibuat. Simulasi yang telah terverifikasi memberikan jaminan bahwa simulasi dapat melakukan eksekusi dari model apapun dengan baik dan benar (Kim, et al. [11]).

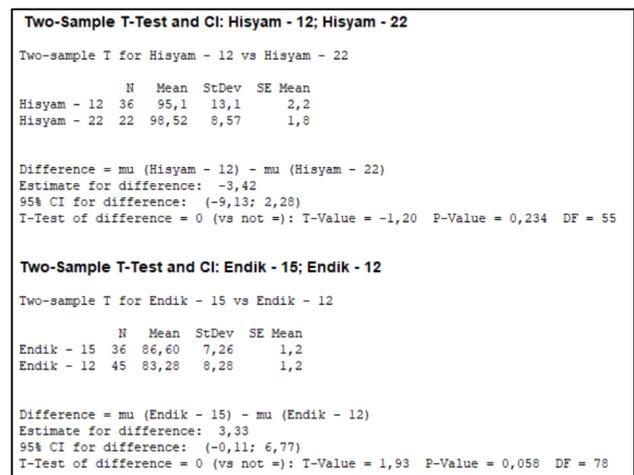
Pengujian validasi dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa model yang dibuat memiliki akurasi dan konsistensi terhadap domain dimana model akan diterapkan nantinya (Sargent, [12]). Model yang valid memberi jaminan bahwa data yang digunakan dan model yang dibuat telah sesuai dengan kenyataan yang ada. Validasi akan dilakukan dengan membandingkan hasil atau

output dari simulasi dengan hasil atau data aktual.

Hasil dan Pembahasan

Perbandingan Diameter Pipa

Diameter dari pipa pada unit yang diproduksi oleh PT XYZ khususnya pada lintasan SS-CS adalah 12 cm, 15 cm, 19 cm, dan 22 cm. Dikarenakan oleh keterbatasan waktu dan jarangya terdapat unit dengan diameter pipa berukuran 19 maka data pipa dengan diameter 19 tidak dapat diperoleh. *Welder* yang melakukan pengelasan dan jenis pengelasan yang dilakukan dibuat sama agar perbedaan yang didapat benar-benar dikarenakan oleh perbedaan diameter *tube*. Pengujian kemudian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab dengan *two-sample t-test*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pengujian Diameter

Hipotesa yang digunakan adalah $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua P-Value (0.234 dan 0.058) > α (0.05) sehingga gagal untuk menolak H_0 , maka rata-rata setiap diameter adalah sama atau diameter tidak mempengaruhi waktu proses *welding*, sehingga waktu proses pengelasan tidak perlu diklasifikasikan menurut diameter *tube* yang akan dilas.

Perbandingan Ranking Welder

Welder pada PT XYZ diklasifikasikan dalam beberapa *ranking* yaitu *ranking* 1, 2, dan 3. Penilaian *ranking* dilakukan berdasarkan *skill* dari *welder* tersebut, namun masih belum diketahui apakah waktu pengelasan juga menentukan *ranking* dari *welder*. Diameter *tube* dan jenis pengelasan yang dilakukan dibuat sama agar perbedaan yang didapat benar-benar

dikarenakan oleh perbedaan diameter *tube*. Data akan diuji antara dua welder dalam *rangking* yang sama, sehingga akan dilakukan tiga kali pengujian yaitu pengujian welder dengan *rangking* 1, 2, dan 3. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

Hipotesa yang digunakan adalah $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$. Hasil pengujian pertama untuk *welder ranking* 1 menunjukkan P-Value (0.003) < α (0.05) sehingga tolak H_0 , maka rata-rata waktu *welding* untuk kedua *welder* memiliki perbedaan walaupun *welder* memiliki *ranking* yang sama. Sedangkan untuk *welder ranking* 2 dan 3 memiliki P-Value > α (0.05) sehingga gagal untuk menolak H_0 dan rata-rata waktu *welding* untuk kedua *welder ranking* 2 dan 3 tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa *ranking welder* tidak dinilai berdasarkan waktu *welding*.

Two-Sample T-Test and CI: Hisyam; Asmawan				
Two-sample T for Hisyam vs Asmawan				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Hisyam	32	94,4	13,3	2,4
Asmawan	39	107,3	16,8	2,7
Difference = mu (Hisyam) - mu (Asmawan)				
Estimate for difference: -12,93				
95% CI for difference: (-20,05; -5,78)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3,61 P-Value = 0,001 DF = 68				
Two-Sample T-Test and CI: Indra; Endik				
Two-sample T for Indra vs Endik				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Indra	38	84,2	12,3	2,0
Endik	36	86,60	7,26	1,2
Difference = mu (Indra) - mu (Endik)				
Estimate for difference: -2,45				
95% CI for difference: (-7,12; 2,23)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,05 P-Value = 0,299 DF = 60				
Two-Sample T-Test and CI: M. Faizal; Jaka				
Two-sample T for M. Faizal vs Jaka				
	N	Mean	StDev	SE Mean
M. Faizal	41	138,3	22,8	3,6
Jaka	101	134,4	33,9	3,4
Difference = mu (M. Faizal) - mu (Jaka)				
Estimate for difference: 3,93				
95% CI for difference: (-5,78; 13,65)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,80 P-Value = 0,424 DF = 108				

Gambar 2. Hasil Pengujian *Ranking Welder*

Perhitungan Waktu Baku

Perhitungan waktu baku dilakukan untuk mengetahui standar waktu setiap proses bagi seluruh operator. Waktu setiap proses diambil menggunakan *stopwatch* dan dilakukan pada hari Senin sampai Jumat pada jam 8.00 sampai 17.00. Data yang diambil kemudian harus diuji kecukupan, keseragaman, dan normalitas sebelum dilakukan perhitungan waktu baku masing-masing data. Uji kecukupan dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui jumlah data yang sebenarnya diperlukan untuk masing-

masing proses. Perhitungan kecukupan data waktu proses *blowing* adalah sebagai berikut :

$$n' = \left(\frac{k}{s} \sqrt{N \times \sum x^2 - (\sum x)^2} \right)^2$$

$$n' = \left(\frac{1,96}{0,05} \sqrt{41 \times (2720,46 - 109435,3)} \right)^2$$

$$n' = 29,5379$$

Jumlah data yang diperlukan pada proses *blowing* adalah 29.5379 data atau dibulatkan menjadi 30 data, sedangkan jumlah data yang telah diambil adalah 40 data. Jumlah data yang telah diambil lebih besar dari jumlah data yang diperlukan ($N > n'$) sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang diambil untuk proses *blowing* telah cukup. Pengujian kecukupan data kemudian dilakukan pada seluruh proses dari *welding* dan didapatkan bahwa seluruh data waktu yang diambil telah mencukupi atau lolos uji kecukupan data. Tabel 3 menunjukkan jumlah data yang didapat dan hasil perhitungan uji kecukupan data pada seluruh proses dari *welding*.

Tabel 3. Hasil Uji Kecukupan Data

Proses	N	n'
Blowing	41	29,54
Cutting	64	63,03
Prepare U-bend	117	97,30
Mengecilkan Tube	35	15,10
Welding U-bend	36	10,51
Potong stutzen	45	31,93
Pasang stutzen	94	87,07
Fit up header kecil	23	19,74
Fit up header besar	14	4,58
Welding header	44	40,20
Welding stutzen	39	36,85
Test 15 bar	24	20,47

Setelah seluruh data telah mencukupi, maka perlu dilakukan uji normalitas pada setiap data. Uji normalitas dilakukan menggunakan *software* Minitab, dimana hipotesa yang akan digunakan adalah :

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

P-Value hasil pengujian normalitas akan dibandingkan dengan α (0.05). Jika P-Value > α maka gagal menolak H_0 sehingga data dinyatakan berdistribusi normal, sebaliknya jika P-Value < α maka H_0 akan ditolak sehingga data tidak berdistribusi normal. Seluruh data waktu dari proses *welding* telah diuji dan

dibuktikan bahwa seluruh data berdistribusi normal.

Uji keseragaman kemudian dilakukan setelah semua data cukup dan berdistribusi normal. Uji keseragaman dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Jika data waktu proses tidak melebihi UCL (*Upper Control Limit*) dan LCL (*Lower Control Limit*), maka data waktu telah lolos uji keseragaman. Hasil uji keseragaman untuk seluruh data waktu dari proses *welding* yang diuji telah lolos uji keseragaman. Data yang telah lolos uji kecukupan, keseragaman, dan normalitas kemudian akan digunakan untuk mencari waktu baku dari masing-masing prosesnya. Sebelum menghitung waktu baku, akan dilakukan penilaian *performance rating* terlebih dahulu untuk digunakan dalam pencarian waktu normal. Penilaian *performance rating* dari *welder* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Performance Rating Welder*

Welding U-bend	
Skill	Good
Effort	Good
Condition	Fair
Consistency	Excellent
PR	1,11
Welding Header	
Skill	Good
Effort	Good
Condition	Fair
Consistency	Average
PR	1,05
Welding Stutzen	
Skill	Excellent
Effort	Good
Condition	Fair
Consistency	Excellent
PR	1,13

Berdasarkan pengujian *two-sample t-test* yang dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa *welder* dengan *ranking* yang sama memiliki perbedaan waktu yang signifikan dalam melakukan pengelasan. Maka penilaian *performance rating* tidak dilakukan hanya berdasarkan *ranking* dari *welder* tersebut. Operator *preparation* dianggap memiliki *skill*, *effort*, *condition*, dan *consistency* rata-rata (0) karena seluruh operator *preparation* memiliki *skill*, *effort*, *condition*, dan *consistency* yang sama. Jumlah dari penilaian *skill*, *effort*, *condition*, dan *consistency* kemudian akan ditambah dengan

angka 1 untuk mendapatkan nilai dari *performance rating*.

Waktu normal adalah waktu siklus yang telah disesuaikan dengan *performance rating* dari pekerja. Waktu siklus didapat dari rata-rata waktu setiap proses. Perhitungan waktu normal untuk proses *welding* U-bend adalah :

$$Wn = 86,60 \text{ detik} \times 1,11 = 96,13 \text{ detik}$$

Allowance kemudian akan ditentukan untuk mencari waktu baku dari setiap proses. Penilaian *allowance* dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang dibutuhkan sebagai kelonggaran bagi pekerja saat melakukan pekerjaan. Penilaian *allowance* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Allowance*

Allowance	Welder	Preparation
Personal Allowance	5	5
Basic Fatigue	4	4
Atm Condition	5	5
Close Attention	5	0
Total Allowance	19	14

Personal allowance dan *basic fatigue allowance* adalah *constant allowance* yang diberikan kepada seluruh orang. *Atm condition allowance* diberikan kepada *welder* dan operator *preparation* karena kondisi lingkungan kerja yang cenderung panas. *Welder* diberi kelonggaran *close attention* dengan kategori *very fine* karena *welder* diharuskan untuk menghasilkan pengelasan dengan kualitas yang baik tanpa kebocoran, sehingga dibutuhkan konsentrasi yang tinggi.

Perhitungan waktu baku kemudian dilakukan setelah penilaian *allowance* telah dilakukan. Perhitungan waktu baku untuk proses *welding* U-bend adalah :

$$Wb = 96,13 \times \left(\frac{100\%}{100\% - 19\%} \right) = 118,68 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan waktu baku selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6. Sebagian besar waktu baku yang diambil memiliki satuan per *tube* dikarenakan tidak memungkinkan untuk mengambil data waktu dalam satuan unit. Unit yang diproduksi pada PT XYZ memiliki jumlah *tube* yang bervariasi dan tidak dapat diramalkan sebelumnya, sehingga pada simulasi yang akan dibuat, jumlah *tube* akan

dirandom dalam *range* jumlah *tube* paling banyak dan paling sedikit yang pernah ada dalam unit yang diproduksi oleh PT XYZ.

$$n' = \left(\frac{1028,05 \times 2,09302}{0,05 \times 31539,33} \right)^2 = 1,8617$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Waktu Baku

Proses	Ws (s)	Wn (s)	Wb (s)
Blowing	7,93	7,93	9,22
Cutting / Fraiz	17,04	17,04	19,82
Prepare U-bend	25,09	25,09	29,18
Kecilin tube	1,34	1,34	1,55
Welding U-bend	86,60	96,13	118,68
Potong stutzen	11,13	11,13	12,94
Pasang stutzen	11,72	11,72	13,63
Fit up header kecil	783,87	783,87	911,48
Fit up header besar	1524,68	1524,68	1772,88
Welding header	105,58	110,86	136,86
Welding stutzen	107,33	121,28	149,73
Test 15 bar	537,67	537,67	625,20

Jumlah replikasi yang dibutuhkan adalah 1,8617 atau dibulatkan menjadi 2 kali replikasi.

Pengujian validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model telah sesuai dengan kondisi aktual. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan output aktual dari perusahaan dengan *output* dari suimulasi. *Confidence interval* akan digunakan yang digunakan adalah 95% yang berarti diyakini bahwa *mean* dari populasi aktual berada dalam range 95% data yang diambil. Jika *mean* data aktual berada didalam range *confidence interval* maka simulasi akan dinyatakan telah tervalidasi. Rata-rata dari *output* aktual perusahaan adalah 326,75 unit per bulan. Hasil *output* aktual perusahaan masuk ke dalam *range confidence interval* yang ada pada simulasi sehingga dapat dikatakan bahwa model yang dibuat beserta data yang diambil telah tervalidasi.

Simulasi

Waktu baku yang telah didapatkan kemudian digunakan untuk waktu proses dalam simulasi yang akan dibuat. Simulasi dibuat sesuai dengan proses yang ada pada perusahaan. Operator *preparation* melakukan tugas *blowing*, *cutting*, memasang U-bend, *prepare* stutzen, dan test 15 bar. *Welder* melakukan seluruh pekerjaan *welding*, sedangkan untuk pemasangan header dilakukan oleh satu *welder* dan satu operator *prepare*.

Simulasi yang telah dibuat kemudian diuji verifikasinya. Uji verifikasi dilakukan dengan mempercepat atau memperlambat waktu pada salah satu proses produksi dan melihat apakah output yang dihasilkan sesuai dengan logika yang diinginkan atau tidak. Saat waktu dipercepat, *output* produksi bertambah dan saat waktu diperlambat, output produksi berkurang. Hal tersebut sesuai dengan logika yang ada sehingga dapat dikatakan bahwa simulasi telah terverifikasi.

Setelah dilakukan uji verifikasi, kemudian dilakukan perhitungan jumlah replikasi yang diperlukan. Pertama-tama simulasi dijalankan selama 460 jam (total jam efektif dalam satu bulan) dan dengan *warm up time* ketika satu produk telah dihasilkan. Replikasi dilakukan sebanyak 20 kali terlebih dahulu dan didapatkan rata-rata waktu dalam sistem adalah 31539,33 menit dengan standar deviasi 1028,05. Kemudian dilakukan perhitungan kecukupan jumlah replikasi sebagai berikut :

Hasil Simulasi

Simulasi yang telah lolos uji verifikasi dan validasi, serta telah ditentukan berapa jumlah replikasi yang diperlukan kemudian dijalankan selama 460 jam. Resource yang digunakan pada simulasi yang dibuat adalah *welder* dan operator *preparation*. Jumlah *welder* dan operator *preparation* akan diubah sampai menemukan *output* yang terbanyak. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Kondisi semula yang ada saat ini, *welder* berjumlah 14 orang sedangkan operator *preparation* berjumlah 3 orang dapat menghasilkan *output* sebanyak 301.5 unit. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *output* optimal ditinjau dari *output* yang dapat dihasilkan adalah 674.5 unit yaitu lebih dari 2 kali lipat dari kondisi semula dengan jumlah *welder* sebanyak 16 orang dan operator *preparation* sebanyak 7 orang setiap *shift*. Jumlah *welder* hanya disimulasikan sampai dengan 16 orang dikarenakan mesin yang ada sekarang hanya 16 mesin *welding*. Jumlah operator *preparation* akan berhenti ditambah ketika *output* simulasi tidak dapat bertambah kembali setelah tiga kali penambahan operator *preparation*. Utilitas pekerja juga akan digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk mengetahui keseimbangan kerja dan tingkat produktivitas masing-masing pekerja. Utilitas dapat dilihat pada Tabel 8.

Kondisi yang ada saat ini tidak seimbang atau mengalami *bottleneck* pada pekerjaan *preparation*. Hal tersebut dapat dilihat pada perbandingan utilitas yang tidak seimbang (100% dan 51,82%) sehingga *welder* pada kondisi ini akan menganggur. Dapat dibuktikan pula dengan kondisi aktual yang didapatkan melalui hasil pengamatan yaitu seringkali *welder* membantu pekerjaan operator *preparation*. Utilitas *welder* dan operator *preparation* saat jumlah *welder* 16 dan operator *preparation* 7 adalah 93.16% dan 99.14%. *Welder* dan operator *preparation* memiliki utilitas yang tinggi dan hanya berbeda sebesar 5.98% sehingga jumlah *welder* dan operator *preparation* telah seimbang dan *welder* tidak perlu lagi menunggu operator *preparation*.

Analisis Biaya

Penambahan jumlah *welder* dan operator *preparation* telah dibuktikan keuntungannya dalam segi produktivitas kerja dan *output* yang dihasilkan. Namun penambahan jumlah pekerja akan menambah pengeluaran perusahaan pada gaji yang diberikan kepada pekerja.

Asumsi yang digunakan pada perhitungan gaji pekerja adalah satu hari terdiri dari 3 *shift* dan gaji yang digunakan untuk setiap pekerja

adalah UMR Pasuruan yaitu Rp. 3.574.486,72. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan jumlah penambahan pekerja, jumlah *shift* dalam satu hari, serta UMR dari daerah Pasuruan. Biaya yang dikeluarkan untuk gaji pekerja kemudian dibandingkan dengan biaya *overtime welder* dan operator *preparation* yang selama ini dikeluarkan oleh perusahaan. *Overtime* dianggap tidak diperlukan lagi karena *overtime* dilakukan untuk memenuhi target produksi yang akan dapat tercapai saath jumlah *welder* dan operator *preparation* telah optimal.

Rata-rata biaya *overtime* yang dikeluarkan perusahaan adalah Rp. 64.845.285,00 setiap bulan. Biaya *overtime* kemudian akan dibandingkan dengan biaya penambahan pekerja. Perhitungan selisih biaya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Rp. } 64.845.285,00 - \text{Rp. } 64.340.760,96 \\ &= \text{Rp. } 504.523,90 \end{aligned}$$

Selisih biaya dari pengeluaran *overtime* saat ini dan pengeluaran gaji untuk penambahan pekerja adalah Rp. 504.523,90 per bulan. Maka penambahan pekerja akan memberi keuntungan biaya juga bagi perusahaan jika diterapkan.

Tabel 7. Hasil Simulasi

Prepare	Welder									
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
2	199,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0
3	300,5	301,5	301,5	301,5	301,0	301,0	301,5	301,0	301,0	301,0
4	356,5	392,5	399,0	400,5	402,5	402,5	402,0	402,0	402,0	402,0
5	345,0	395,0	438,0	475,5	512,0	500,5	503,5	502,5	503,0	503,0
6	339,0	379,0	420,5	472,0	511,5	563,0	598,0	601,5	603,0	603,0
7	-	376,5	421,5	461,5	507,0	551,0	595,0	643,0	674,5	674,5
8	-	-	-	-	-	543,0	587,0	628,5	665,5	665,5
9	-	-	-	-	-	541,0	586,0	628,5	669,0	669,0
10	-	-	-	-	-	-	584,0	627,5	671,0	671,0
11	-	-	-	-	-	-	-	-	671,0	671,0
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	668,5

Tabel 8. Utilitas *Welder* dan Operator *Welding Preparation*

Prepare	Welder																		
	8		9		10		11		12		13		14		15		16		
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	
2	100,00	60,90	100,00	54,28	100,00	48,81	100,00	44,37	100,00	40,67	100,00	37,54	100,00	34,86	100,00	32,54	100,00	30,65	100,00
3	100,00	91,45	100,00	80,90	100,00	72,59	100,00	65,96	100,00	60,46	100,00	55,80	100,00	51,82	100,00	48,36	100,00	44,96	100,00
4	82,19	100,00	93,46	99,99	100,00	97,99	100,00	89,20	100,00	81,62	100,00	75,28	100,00	69,87	100,00	65,21	100,00	61,21	100,00
5	65,45	100,00	73,59	100,00	82,03	100,00	100,00	90,94	98,83	99,61	100,00	93,97	100,00	87,26	100,00	81,37	100,00	76,09	100,00
6	54,44	100,00	61,21	100,00	68,01	100,00	74,87	100,00	81,75	100,00	88,96	99,94	95,73	99,61	99,90	97,27	99,96	91,45	100,00
7	-	-	52,38	100,00	58,12	100,00	64,05	100,00	70,08	100,00	76,43	100,00	82,18	99,97	87,95	99,83	93,16	99,14	100,00
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66,77	100,00	72,41	100,00	77,44	100,00	82,57	99,94	100,00
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,52	100,00	65,26	100,00	68,71	100,00	73,39	100,00	100,00
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58,49	100,00	61,83	100,00	65,98	100,00	100,00
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,92	100,00	100,00
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54,96	100,00	100,00

Simpulan

Penelitian yang dilakukan pada PT XYZ dimana perusahaan bergerak di bidang pembuatan *heat exchanger* bertujuan untuk menentukan jumlah *welder* dan operator *preparation* yang optimal agar proses *welding* tidak mengalami *bottleneck*. Pengujian untuk mencari perbedaan waktu dari proses pengelasan pada diameter yang berbeda dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui apakah perlu dilakukan klasifikasi terhadap data pengelasan menurut diameter *tube* yang akan dilas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu pengelasan pada diameter yang berbeda tidak memiliki perbedaan yang signifikan, maka waktu pengelasan tidak perlu dibedakan menurut diameter *tube* yang akan dilas. Pengujian *rangking* dari *welder* terhadap waktu proses pengelasan kemudian juga dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada *welder* dengan *rangking* yang berbeda. Pengujian menunjukkan bahwa *welder* pada *rangking* yang sama memiliki perbedaan waktu pengelasan yang signifikan sehingga *rangking* tidak dapat dijadikan ukuran bagi waktu pengelasan.

Perhitungan waktu baku dilakukan sebagai bahan atau data yang akan digunakan pada simulasi yang dibuat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah operator *preparation* yang optimal adalah 7 orang, sedangkan jumlah *welder* yang optimal adalah 16 orang. *Utilitas welder* adalah 99.14% sedangkan operator *preparation* 93.16% yang dapat dikatakan tinggi dan seimbang. *Output* produksi yang awalnya (pada keadaan sekarang) memiliki rata-rata 301.5 dapat meningkat sebanyak 674.5 jika jumlah pekerja yang optimal diterapkan. Berdasarkan segi biaya, perusahaan akan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 504.523,90 per bulan karena meskipun dilakukan penambahan pekerja, biaya *overtime* yang dikeluarkan oleh perusahaan selama ini tidak akan diperlukan lagi. *Overtime* tidak diperlukan karena *output* produksi akan dapat tercapai dengan penambahan pekerja tanpa melakukan *overtime*.

Daftar Pustaka

1. Sadik, K. & Hongtan, L. (2002). *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design* (2nd ed.). CRC Press.
2. Russell, R.R., & Taylor, B.W. (2005). *Operations Management: Quality and Competitiveness in a Global Environment* (5th ed.). New York : J. Wiley.
3. Meyers. (2002). *Time Study Method Implementation in Manufacturing Industry*. Melaka : A B.E Report, Universiti Teknikal Malaysia.
4. Barnes, Ralph M. (1980). *Motion and Time Study, Design and Measurement of Work* (7th ed.). New York : John Wiley & Sons.
5. Nakayama, S. (2002). *A study on setting standard time using work achievement quotient*. International Journal of Production Research.
6. Karger, Delmar W. (1987). *Engineered Work Measurement* (4th ed.). New York: Industrial Press Inc.
7. Sutralaksana, Iftikar Z. (2006). *Teknik Perancangan Sistem Kerja*. Bandung : Penerbit ITB.
8. Freivalds, A. (2012). *Niebel's Methods, Standards, and Work Design* (12th ed.). United States of America : McGraw-Hill Companies, Inc.
9. Wignjosoebroto, Sritomo. (1989). *Teknik Tata Cara dan Pengukuran Kerja*. Surabaya: Guna Widya.
10. Schriber, T. J (1987). *The nature and role of simulation in the design of manufacturing systems*. Society for Computer Simulation.
11. Kim T. G., Praehofer H., & Zeigler B. P. (2000). *Theory of modeling and simulation, integrating discrete event and continuous complex dynamic systems* (2nd ed.). Amsterdam : Academic Press.
12. Sargent, Robert G. (2011). *Verification and Validation of Simulation Models*. New York : Syracuse University.