

SIMULASI PROSES PRODUKSI LAYOUT LANTAI PRODUKSI PIPA BAJA LAS SPIRAL AWWA C200 DI PT KHI PIPE INDUSTRIES

Dyah Lintang Trenggonowati

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Indonesia
e-mail: dyahlintang@untirta.ac.id

ABSTRAK

PT. KHI Pipe Industries merupakan salah satu perusahaan manufaktur dari anak PT. Krakatau Steel yang memproduksi pipa baja. Perusahaan ini belum mampu untuk memenuhi target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hal tersebut diidentifikasi terjadi bottleneck pada beberapa section pada mesin SPM 2000 yang menyebabkan jumlah produk work in process bertambah dan jumlah produk pipa yang dihasilkan menjadi rendah. Akibatnya produksi tidak mencapai target sehingga membuat konsumen kecewa serta menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Karena itulah, perlu adanya identifikasi bottleneck dan upaya mengurangi mesin yang bottleneck untuk meningkatkan produktifitas pipa las spiral sehingga target produksi bisa dicapai. Pada penelitian ini, simulasi digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Penelitian ini terdapat 3 usulan perbaikan. Dari ketiga usulan perbaikan tersebut, didapatkan bahwa jumlah rata-rata produk pipa baja las spiral pada usulan perbaikan 1 sebesar 4786 unit/bulan, jumlah rata-rata produk pipa baja las spiral pada usulan perbaikan 2 sebesar 4791 unit/bulan dan jumlah rata-rata produk pipa baja las spiral pada usulan perbaikan 3 sebesar 4783 unit/bulan Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa usulan perbaikan 2 menghasilkan jumlah rata-rata produk pipa baja las spiral optimal dibandingkan dengan usulan perbaikan lainnya dan menjadi rekomendasi terbaik untuk meningkatkan produktifitas di PT. KHI Pipe Industries.

Kata kunci: *Bottleneck, Produktivitas, Simulasi.*

ABSTRACT

PT. KHI Pipe Industries is one of the manufacturing companies of PT. Krakatau Steel's subsidiary which manufactures steel pipes. This company has not been able to meet the production targets set by the company. This identified bottlenecks in several sections on the SPM 2000 machine which caused the number of work in process products to increase and the number of pipe products produced to be low. As a result, production does not reach the target, making consumers disappointed and cause losses for the company. For this reason, it is necessary to identify bottlenecks and efforts to reduce bottlenecked machinery to increase spiral welding pipe productivity so that production targets can be achieved. In this study, simulation is used to solve this problem. This study has 3 proposed improvements. From the three proposed improvements, it was found that the average number of spiral weld steel pipe products in the proposed improvement 1 was 4786 units/month, the average number of spiral welded steel pipe products in the proposed improvement 2 was 4791 units/month and the average number spiral welded steel pipe products in the proposed improvement 3 of 4783 units/month Based on these results, it can be concluded that the proposed improvement 2 produces an average number of optimum spiral welded steel pipe products compared to other proposed improvements and is the best recommendation for increasing productivity at PT. KHI Pipe Industries.

Keywords: *Bottleneck, Productivity, Simulation.*

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, proses-proses yang terjadi dalam manufaktur semakin kompleks alur dan tahapannya, yaitu melalui tahapan mesin dan operasi juga harus mengikuti berbagai perencanaan yang dilakukan dengan baik dalam setiap langkahnya. Setiap prosesnya harus memperhatikan produk yang diproduksinya sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan konsumen serta target waktu selesainya produksi dengan tepat. Pipa baja merupakan salah satu produk manufaktur yang dalam proses produksinya melalui beberapa proses produksi.

PT. KHI *Pipe Industries* merupakan salah satu perusahaan manufaktur dari anak PT. Krakatau Steel yang memproduksi pipa baja. Produk pipa baja yang dihasilkan adalah pipa baja las spiral dan longitudinal, misalnya pipa air, pipa pancang dan pipa gas. Pipa air biasanya menggunakan jenis pipa AWWA C200, Pipa pancang menggunakan jenis pipa ASTM A252 dan pipa gas menggunakan jenis pipa API 5L. Bahan baku yang digunakan untuk membuat produk pipa adalah *coil* HRM yang berasal dari PT. Krakatau Steel. Produk pipa diproduksi melalui beberapa tahapan proses, mulai dari persiapan *coil* pada *stand coil* sampai berubah menjadi produk pipa.

Pada proses produksi sering mengalami beberapa kendala seperti sering terjadinya *bottleneck* pada beberapa *section* pada mesin SPM 2000 di PT. KHI *Pipe Industries*, hal tersebut menyebabkan jumlah produk *work in procces* bertambah dan jumlah produk pipa yang dihasilkan menjadi rendah. Akibatnya produksi tidak mencapai target sehingga membuat konsumen kecewa serta menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Berdasarkan permasalahan yang dialami oleh PT. KHI *Pipe Industries*, akan dilakukan simulasi proses produksi pipa baja las spiral pada mesin SPM 2000 untuk mengetahui berapa waktu proses produksi yang dibutuhkan dan berapa banyak jumlah produk yang dihasilkan. Setelah dilakukan simulasi, maka dapat diketahui apakah jumlah produk yang dihasilkan mencapai target produksi tiap bulannya atau tidak dan alternatif perbaikan yang dapat dilakukan untuk proses produksi agar dapat memenuhi target jumlah produk yang dipesan oleh konsumen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT. KHI Pipe Industries. PT. KHI Pipe Industries salah satu anak perusahaan PT. Krakatau Steel Tbk yang bergerak dibidang manufaktur, khususnya produksi pipa baja. Perusahaan ini terletak Kota Cilegon Provinsi Banten. Penelitian ini focus pada pip alas spiral (pipa air) tipe AWWA 200 dengan menggunakan mesin SPM 200. Metode yang digunakan dalam penelitia ini yaitu model simulasi komputer dengan *Software Pro Model 7.5*.

Penelitian ini diawali dengan permasalahan target produksi yang tidak dapat dicapai oleh PT. KHI Pipe Industries sehingga tujuan perusahaan untuk meningkatkan produktivitas sulit terwujud. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, peneliti mengambil beberapa data waktu proses dari setiap mesin untuk diolah dengan menggunakan uji statistiak seperti uji korelasi, scatter plot, run test, estimasi parameter dan goodness of fit. Setelah itu, model diverifikasi dan divalidasi untuk membuat model simulasi awal (konseptual). Model usulan dibuat berdasarkan output simulasi promodel. Selanjutnya model usulan tersebut dibandingkan dengan model awal (*eksisting*) sehingga didapatkan bahwa model usulan lebih baik dibandingkan dengan model *eksisting*, model usulan dapat diaplikasikan oleh perusahaan. Namun, semua itu tergantung perusahaan model usulan yang manakah yang akan diambil.

MODEL KONSEPTUAL

Peneliti mengawali penelitian dengan membuat model konseptual berdasarkan sistem nyata. Model konseptual terdiri dari problem *element*, sistem elemen dan *system relevant*. Selain itu, peneliti mengambil secara langsung waktu proses di setiap mesin untuk menunjang penelitian.

Problem Element

Berdasarkan permasalahan yang peneliti ambil, terdapat beberapa *problem element* yang akan dibahas untuk mengetahui gambaran secara umum langkah-langkah untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi. Berikut adalah yang termasuk dalam *problem element*:

a. *Decision Maker*

Decision maker dalam permasalahan yang diteliti adalah kepala Divisi Produksi PT. KHI Pipe Industries. Kepala Divisi Produksi PT. KHI Pipe Industries yang akan mengambil suatu keputusan dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi.

b. *The Objective*

Dalam penelitian ini, simulasi bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pipa tipe AWWA C200 (pipa air) yang menggunakan mesin SPM 2000.

c. *The Performance Measure*

Penelitian yang diteliti adalah produk pipa tipe AWWA C200 (pipa air) sehingga produk akhir akan diukur berdasarkan satuan unit pipa tipe AWWA C200 (pipa air).

d. *Alternative Courses of Action*

Peneliti mengamati proses produksi, lintasan produksi dan waktu proses produksi untuk mengetahui permasalahan yang terjadi sehingga peneliti dapat menentukan alternatif perbaikan dalam mencapai tujuan penelitian. Alternatif usulan perbaikan 1 yaitu menambahkan *bevel machine* dan *hydrostatic test machine* menjadi dua buah serta menambahkan *crane* sebanyak dua buah. Pada mesin SPM 2000. Alternatif usulan perbaikan 2 yaitu alternatif usulan perbaikan 1 ditambah dengan menambahkan mesin *section 1* menjadi dua buah. Alternatif usulan perbaikan 3 yaitu alternatif usulan perbaikan 1 ditambah dengan menambahkan mesin *section 2* menjadi dua buah.

Element System

Sistem elemen adalah suatu kesatuan yang terdiri dari komponen atau elemen (bagian-bagian dasar) yang dihubungkan bersama agar memudahkan aliran energi materi atau informasi agar tercapai suatu tujuan tertentu.

a. *Locations*

Beberapa lokasi yang digunakan dalam penelitian simulasi ini diantaranya *Stand Coil*, Mesin SPM 2000 *Section 1*, Mesin SPM 2000 *Section 2*, Mesin SPM 2000 *Section 3*, Mesin SPM 2000 *Section 4*, *Beveling Machine*, Mesin *hydrostatic test*, *Stand kawat*, *Storage* sementara, *Conveyor*. *Conveyor* berjumlah 4 yang terdiri dari *conveyor 1*, *conveyor 2*, *conveyor 3* dan *conveyor 4*.

b. *Entities*

Beberapa entitas yang ada dalam sistem simulasi ini diantaranya *coil gulungan*, *coil flat*, *coil grove*, pipa, pipa hasil pemotongan, dan pipa *bevel*.

c. *Arrivals*

Dalam penelitian simulasi ini, yang termasuk *arrivals* adalah *coil* saat di *stand coil* dan kawat di *stand kawat* untuk proses pengelasan.

d. *Resources*

Resources dalam penelitian simulasi ini adalah *crane* yang berfungsi untuk memindahkan bahan baku pipa yaitu *coil* dari gudang ke *stand coil*, memindahkan pipa dari proses pemotongan ke proses *bevel* dan memindahkan pipa dari proses *bevel* ke uji hidrostatik.

Relevant System

Sistem relevan adalah sistem yang mengidentifikasi seluruh komponen relevan, meliputi hubungan struktural dan proses mengenai permasalahan yang dikaji. Pada sistem relevan, dapat diidentifikasi dalam bentuk *wider system* dan *narrow system* [1]. Berikut adalah sistem relevan pada penelitian simulasi ini:

a. Sistem Relevan

Menggambarkan suatu sistem produksi pipa baja dari penyimpanan bahan baku hingga dipasarkan ke konsumen. Sistem relevan sistem ini adalah *wider system* dimana sistem dibahas secara menyeluruh. Pada proses yang diberi kotak di dalam kotak proses keseluruhan merupakan *narrow system* yang peneliti teliti proses produksinya untuk dibuat simulasi.

b. Entity Flow Diagram

Entity flow diagram menjelaskan aliran entitas dari awal dimulainya proses hingga proses selesai. Entitas awal pada proses produksi pipa tipe AWWA C200 (Pipa Air) adalah *coil* yang dibeli dari PT. Krakatau Steel dalam bentuk gulungan. *Coil* tersebut disimpan di gudang dan jika akan mulai diproduksi, *coil* akan dipindahkan menggunakan *crane* ke *stand coil* dimana tempat untuk memulai proses produksi.

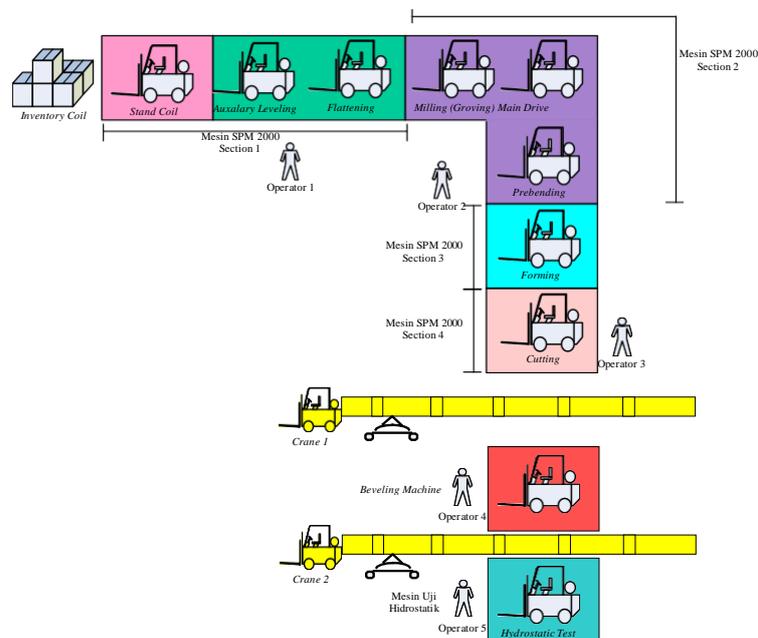
Setelah itu, *coil* yang berbentuk gulungan ditekan serta ditarik maju dan dan mundur menggunakan klem yang berbentuk silinder sehingga menghasilkan *coil* yang lurus. Klem tersebut mengapit *coil* yang akan diluruskan dan ditekan sehingga *coil* tidak akan bergerak. Setelah itu, *coil* diratakan permukaan sisinya sehingga tidak bergelombang dan akan menghasilkan *coil* yang permukaannya rata.

Proses selanjutnya adalah proses *milling* untuk membuat *groove* pada *coil*, bisa berbentuk i, x maupun y dan akan menghasilkan *coil groove*. Selanjutnya adalah proses *pre bending*, *coil groove* ditarik menggunakan *main drive* hingga menekuk dan berputar untuk dilas (bagian dalam dan luar) dengan bantuan kawat las yang disimpan di *stand* kawat. Keluaran dari hasil las adalah pipa. Namun, pipa ini masih ada proses untuk dapat dipasarkan ke konsumen sebagai pipa kualitas baik.

Pipa yang sudah jadi, akan dilanjutkan dengan proses pemotongan sesuai dengan pesanan konsumen menghasilkan pipa potong. Pipa yang sudah dipotong, dipindahkan ke *storage* sementara. Setelah itu, pipa hasil pemotongan dipindahkan menggunakan *crane* ke proses *bevel* untuk merapikan sisi ujung pipa dan dipindahkan menggunakan *crane* untuk di uji hidrostatik dan bentuk pipa *bevel*. Fungsi dari uji hidrostatik adalah mengetahui kekuatan pipa dengan tekanan air selama 5 detik sampai mencapai 5 MPa apakah pipa bocor atau tidak.

c. Layout Diagram

Berikut Gambar1 adalah *layout diagram* proses produksi pipa tipe AWWA (pipa air) C200 yang diteliti:



Gambar 1. Layout Diagram

Gambar 1 menggambarkan *layout* secara umum proses produksi pipa dari *coil* menjadi pipa sampai proses uji hidrostatis sesuai dengan batasan penelitian. *Layout* di atas sesuai dengan alur produksi pipa. Jarak dari gudang ke *stand coil* adalah 200 cm dengan pemindahan *coil* selama 12-15 menit, jarak dari *stand coil* ke *auxalary leveling* adalah 50 cm, jarak dari *auxalary leveling* ke proses *flattening* adalah 300 cm, jarak dari proses *flattening* ke proses *milling* adalah 110 cm, jarak dari proses *milling* ke alat bantu *main drive* adalah 190 cm, jarak dari *main drive* ke proses *pre bending* adalah 90 cm, jarak dari proses *pre bending* ke proses *forming* adalah 289 cm, jarak dari proses *forming* ke proses pemotongan adalah 780 cm. Setelah pipa diporong, pipa dipindahkan menggunakan *crane* ke proses bevel dengan jarak 66 m dan dipindahkan lagi ke proses uji hidrostatis dengan jarak 12,5 m.

Pemindahan *coil* ataupun pipa menggunakan *crane* dengan jumlah 1 sampai 2 *coil* atau pipa sesuai dengan ukurannya. Perpindahan bahan baku dari proses ke proses menggunakan *conveyor* di dalam mesin sehingga bahan baku akan terus berpindah secara continuous. *Crane* dan *convenyor* pun mempunyai kecepatan masing-masing.

Uji Statistika

PT. KHI Pipe *Industries* merupakan salah satu anak perusahaan PT. Krakatau Steel Tbk dalam bidang manufaktur yang memproduksi pipa baja. Salah satu jenis pipa yang sering diproduksi adalah pipa air. Dalam proses produksinya, pipa air dengan jenis pipa AWWA C200 menggunakan mesin SPM 2000. Bahan baku utama yang digunakan dalam proses pembuatan pipa adalah *coil* gulung dan kawat. *Coil* gulung tiba di *stand coil* menggunakan distribusi normal dengan waktu rata-rata sebesar 685.767 detik dan standar deviasi 105.708 detik.

Setelah itu, *coil* gulung akan melalui beberapa proses produksi, seperti proses *section 1*, proses *section 2*, proses *section 3*, proses *section 4*, proses *bevel* dan proses *hydrostatic test*. *Coil* gulung yang telah tiba di *stand coil*, kemudian menuju *section 1* menggunakan *conveyor 1* yang memiliki panjang 3.5 cm dengan kecepatan 50.5 mpm. Perpindahan *coil* gulung dari *conveyor 1* menuju *section 1* membutuhkan waktu selama 2 menit. Pada proses *section 1*, *coil* gulung diproses menggunakan distribusi lognormal (Tabel 1) dengan waktu rata-rata selama 178.033 detik dan standar deviasi sebesar 25.7474 detik. Proses *section 1* merupakan proses *auxalary leveling* dan *flattening* dimana *coil* gulung diluruskan agar permukaannya lurus dan rata.

Setelah terjadi perubahan menjadi *coil* rata, *coil* rata menuju *section 2* menggunakan *conveyor 2* yang memiliki panjang 3.9 cm dengan kecepatan 50.5 mpm. Perpindahan *coil flat* dari *conveyor 2* menuju *section 2* membutuhkan waktu selama 3 menit. Proses *section 2* yaitu proses *milling*, *main drive* dan *pre bending*. Pada proses ini, semua sisi *coil* dibuat menjadi *grove* sebagai bahan lajutan proses pengelasan hingga proses penekukan *coil grove* untuk dapat memulai proses pengelasan. Proses *section 2* ini menggunakan distribusi normal dengan waktu rata-rata 408.067 detik dan standar deviasi 40.6515 detik. Kemudian, *coil grove* menuju *section 3* yaitu proses pengelasan baik pengelasan dalam maupun pengelasan luar dengan menggunakan *conveyor 3* yang memiliki panjang 9.89 cm dan kecepatan 50.5 mpm.

Dalam proses lainnya, kawat las tiba di *stand kawat* untuk digunakan dalam proses pengelasan. Waktu kedatangan kawat diasumsikan sama dengan waktu kedatangan *coil* gulung, yaitu menggunakan distribusi normal (Tabel 1) dengan rata-rata waktu sebesar 685.767 detik dan standar deviasi 105.708 detik. Kawat pada *stand kawat*, juga akan menuju *section 3* untuk proses pengelasan pada *coil grove* sehingga kawat akan melebur menjadi satu dengan *coil grove*. *Coil grove* pada *conveyor 3* menuju *section 3* dengan waktu perpindahan selama 10 menit. Proses *section 3* ini menggunakan distribusi

Dyah Lintang Trenggonowati

lognormal (Tabel 1) dengan waktu rata-rata 417.267 detik dan standar deviasi sebesar 86.0673 detik. Setelah proses *section 3, coil grove* telah berubah menjadi pipa.

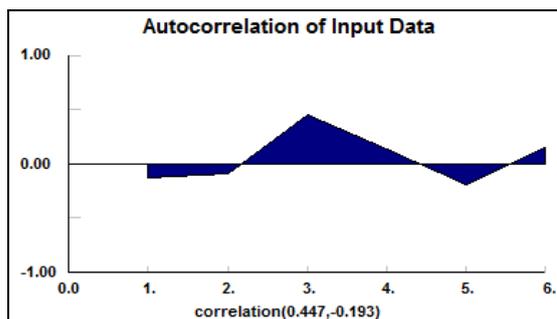
Pipa hasil pengelasan akan menuju *section 4* (proses pemotongan) menggunakan *conveyor 4* dengan panjang 7.8 cm dan kecepatan 50.5 mpm. Perpindahan dari *conveyor 4* ke *section 4* selama 3 menit. Pada *section 3*, pipa akan dipotong menjadi 6 pipa. Proses *section 4* (proses pemotongan) menggunakan distribusi lognormal (Tabel 1) dengan waktu rata-rata 403.833 detik dan standar deviasi sebesar 122.294 detik

Pipa hasil pemotongan kemudian disimpan di *storage* sementara dengan waktu perpindahan dari *section 4* ke *storage* sementara selama 5 detik dan pipa akan menunggu dipindahkan ke proses *bevel*. Perpindahan pipa hasil pemotongan dari *storage* sementara ke proses *bevel* menggunakan *crane 1*. Jarak antar proses tersebut adalah 66 m. Pada proses *bevel*, pipa hasil pemotongan dirapihkan bagian ujungnya sehingga permukaannya rapi ketika akan disambungkan dengan pipa lainnya sehingga menjadi pipa *bevel*.

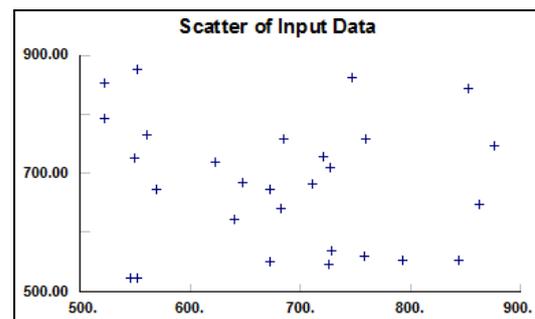
Proses *bevel* berdistribusi *uniform* dengan waktu rata-rata sebesar 529.2 detik dan *half range* sebesar 205.8 detik. Pipa *bevel* kemudian dipindahkan ke proses *hydrostatic test* menggunakan *crane 2* dengan jarak perpindahan sebesar 12.5 m. Proses *hydrostatic test* berdistribusi *uniform* (Tabel 1) dengan waktu rata-rata 216.933 detik dan *half range* sebesar 67.067 detik. Setiap *crane* yang digunakan akan kembali ke tempat semula sehingga pergerakan *crane* dua arah. Kedua *crane* mempunyai kecepatan yang sama yaitu 25,25 npm baik ketika tidak membawa beban ataupun ketika membawa beban. Proses produksi pipa telah selesai dan diakhiri dengan proses *hydrostatic test*.

PT. KHI Pipe Industries hanya memproduksi pipa pada hari Senin sampai hari Jumat. Dalam satu hari terdiri dari 3 *shift* dengan 7 jam kerja dan 1 jam istirahat. Jadwal *shift* tersebut berlaku untuk pekerja, mesin (lokasi) dan *resources (crane)* serta tidak berlaku untuk *stand coil*, stand kawat dan *storage* sementara karena meskipun ada jam istirahat, *stand coil*, stand kawat dan *storage* sementara akan tetap menyimpan entitasnya masing-masing.

Setelah membuat model konseptual dan mengambil data waktu proses, peneliti melakukan uji statistika untuk mengetahui apakah data layak digunakan untuk simulasi atau tidak. Uji statistika yang dilakukan dalam penelitian simulasi, yaitu uji korelasi, *scatter plot*, *run test*, estimasi parameter dan *goodness of fit*. Berikut Gambar 2 dan Gambar 3 adalah hasil grafik uji korelasi dan *scatter plot*:



Gambar 2. Uji Korelasi Waktu Antar Kedatangan



Gambar 3. Scatter Plot Waktu Antar Kedatangan

Tabel 1. Hasil Uji Statistika

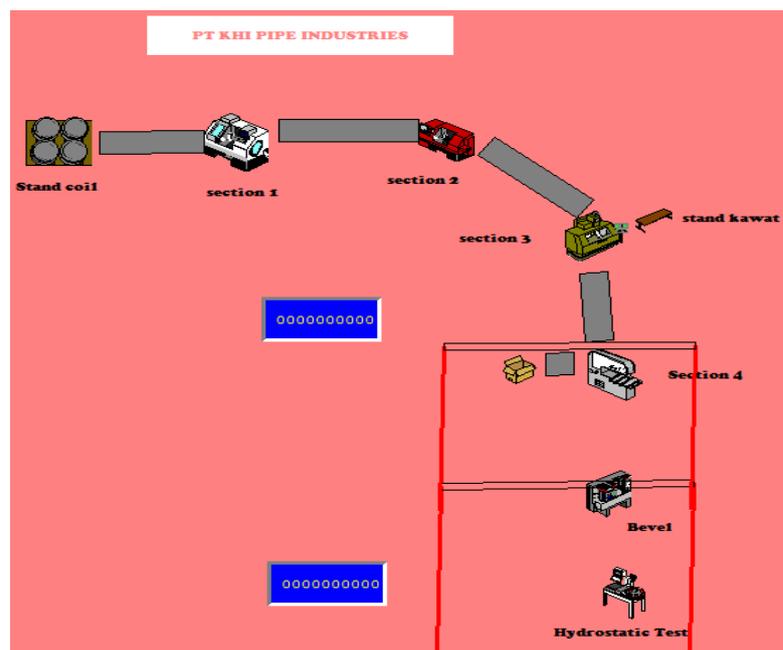
Waktu	Korelasi	Scatter Plot	Run Test	Estimasi Parameter	Goodnes of fit
Waktu Antar Kedatangan	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Normal	Distribusi <i>don't reject</i>
Proses Section 1	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Lognormal	Distribusi <i>don't reject</i>
Proses Section 2	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Normal	Distribusi <i>don't reject</i>
Proses Section 3	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Normal	Distribusi <i>don't reject</i>
Proses Section 4	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Lognormal	Distribusi <i>don't reject</i>
Bevel	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Uniform	Distribusi <i>don't reject</i>
Hydrostatic Test	Tidak berkorelasi	Data independen	Data <i>don't reject</i>	Distribusi Uniform	Distribusi <i>don't reject</i>

Berdasarkan pengujian menggunakan *Autofit Software Pro Model 7.5*, data yang peneliti ambil untuk melakukan simulasi layak untuk digunakan. Hasil data tersebut telah tercantum dalam Gambar 2 dan Gambar 3. Hasil uji korelasi, grafik memiliki data yang berada pada dua sisi yaitu positif dan negatif. Hal ini menunjukkan bahwa data tidak berkorelasi. Hasil uji *scatter plot* pun menyatakan data independen dan random, karena data tersebar dan tidak berkumpul di beberapa titik saja, data juga tidak menunjukkan pola tertentu sehingga data dikatakan layak digunakan [2]. Tabel 1 adalah hasil rekaman dari uji statistika untuk setiap waktu proses.

Hasil *run test*, data independen (saling tidak berkaitan antara satu data dengan data yang lain), random (acak atau menyebar) dan data cukup sehingga data layak untuk digunakan. Estimasi parameter untuk memutuskan bentuk distribusi dari data yang dimiliki dengan penerimaannya harus “*do not reject*”. *Goodness of fit* merupakan uji statistik untuk menguji apakah distribusi probabilitas terpilih benar-benar tepat mewakili sampel data dan berdasarkan hasil *goodness of fit*, distribusi yang telah terpilih benar-benar dapat digunakan.

PENGEMBANGAN MODEL DAN ANALISIS

Perancangan model simulasi eksisting dimulai dengan perancangan model konseptual, penentuan asumsi model dan penentuan distribusi data menggunakan statfit untuk mengetahui jenis distribusi yang mewakili data yang digunakan. Pada model ini, proses dimulai dari guang bahan baku *coil* menuju *stand coil* sebagai tempat awal proses pembuatan pipa dan akan terus melakukan proses produksi pada *section 1*, *section 2*, *section 3*, *section 4*, *bevel* dan *hydrostatic test*, yang digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Layout Model Existing*

Replikasi dan Validitas Model Awal

Replikasi awal yang dilakukan n kali dimana $n \geq 5$ [2]. Pada penelitian ini, peneliti melakukan sebanyak 10 replikasi sebagai replikasi awal dengan waktu untuk satu kali replikasi selama 21 jam. *Replication* digunakan untuk menggambarkan perilaku *random/probabilistic* dari suatu sistem. Berdasarkan perhitungan di atas maka jumlah replikasi yang dibutuhkan sebanyak 8 replikasi ($N' < N$, yaitu $8 < 10$), sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan jumlah replikasi awal sebanyak 10 replikasi telah mencukupi replikasi minimal yang dibutuhkan (Tabel 2).

Tabel 2. Perhitungan Replikasi

No	X_i	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})^2$	S	Error	N'
1	2242	2253.7	136.89	9.1657575	6.5563324	7.5080463
2	2256		5.29			
3	2259		28.09			
4	2259		28.9			
5	2257		10.89			
6	2247		44.89			
7	2237		278.89			
8	2262		68.89			
9	2252		2.89			
10	2266		151.29			
Total	22537		596.5			

Hasil dari Tabel 2, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah replikasi minimum yang diperlukan, berikut perhitungannya:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{\sum x_i}{n} \\ &= \frac{22537}{10} \\ &= 2253.7 \\ S &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{596.5}{10-1}} \\ &= 9.1657575 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Error &= \frac{\left(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}\right) S}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{(2.262) 9.1657575}{\sqrt{10}} \\ &= 6.5563324 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n' &= \left[\frac{(Z_{\alpha/2}) S}{\left(\frac{re}{(1+re)}\right) \bar{x}} \right]^2 \\ &= 7,5080463 \approx 8 \end{aligned}$$

Validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan [2]. Metode yang digunakan untuk menguji validitas hasil *output* (Tabel 3) simulasi eksisting adalah dengan uji hipotesis dua rata-rata. Uji hipotesis dua rata-rata digunakan untuk mengetahui ada atau tidak adanya perbedaan (kesamaan) antara dua buah data. Teknik analisis statistik untuk menguji hipotesis dua rata-rata ini ialah *paired sample t-test* (Tabel 4) [3],[4] dimana tahapan pertama pengujian ini untuk mengetahui bahwa varian kedua kelompok adalah sama atau tidak, berikut hipotesisnya:

$$\begin{aligned} H_0 &: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 &: \mu_1 \neq \mu_2 \end{aligned}$$

Tabel 3. Data *Output* Sistem Nyata dan Sistem Simulasi

Replikasi	<i>Output</i> Sistem Nyata (Unit)	<i>Output</i> Sistem Simulasi (Unit)
1	2276	2242
2	2247	2256
3	2228	2259
4	2246	2259
5	2264	2257
6	2209	2247
7	2228	2237
8	2280	2262
9	2260	2252
10	2271	2266
Total	22509	22537
<i>Mean</i>	2250.9	2253.7

Dari hasil *output* model eksisting dengan replikasi awal $n = 10$, diperoleh data sebagai berikut (Tabel 4 dan Tabel 5):

Tabel 4. Paired Sample Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Nyata	2250.9000	10	23.52044	7.43782
	Simulasi	2253.7000	10	9.16576	2.89847

Tabel 5. Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Nyata & Simulasi	10	.376	.284

Tabel 6. Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Nyata - Simulasi	-2.80000	21.79602	6.89251	-18.39194	12.79194	-.406	9	.694

Untuk melihat suatu data dapat dinyatakan valid atau tidak valid pada Tabel 6, dapat dilakukan dengan 3 pengujian, yaitu melihat nilai kritis data, uji t dan *p-value*. Jika dilihat dari nilai kritis, nilai rata-rata (*mean*) masuk dalam rentang *lower bound* dan *upper bound*. Selain, data tersebut menunjukkan *paired difference* melewati 0 sehingga H_0 diterima yang artinya tidak ada perbedaan yang *significant* antara sistem nyata dan sistem simulasi.

Jika dilihat dari uji t, t_{hitung} yang didapat adalah -0.096 sedangkan $t_{tabel (0.05,9)}$ adalah 2.262. Hasil tersebut menyatakan bahwa $t_{hitung} < t_{tabel}$ sehingga H_0 diterima. H_0 diterima artinya tidak ada perbedaan yang *significant* antara sistem nyata dan sistem simulasi. Alternatif ketiga untuk melihat hasil validasi adalah *p-value*. Nilai *Sig (2-tailed)* > α dimana $0.694 > 0.05$ yang menyatakan bahwa H_0 diterima. H_0 diterima artinya tidak ada perbedaan yang *significant* antara sistem nyata dan sistem simulasi (*output* sistem nyata sama dengan *output* sistem simulasi). Berdasarkan tiga pengujian tersebut, maka data dinyatakan valid [3],[4].

Perancangan Model Usulan Perbaikan

Setelah mevalidasi model tersebut dan mendapatkan *output* dari model *eksisting*, langkah selanjutnya adalah merancang usulan perbaikan. Perancangan usulan perbaikan bertujuan untuk memperbaiki sistem konseptual yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pipa air tipe AWWA 200. Oleh karena itu, perancangan usulan perbaikan yang dibuat akan fokus pada perbaikan produktivitas pipa air tipe AWWA 200. Beberapa usulan perbaikan (Tabel 7) yang peneliti lakukan adalah (1) Penambahan mesin *bevel* dan mesin *hydrostactic test* menjadi dua dan menambah crane, (2) Penambahan mesin *bevel*, mesin *hydrostactic test* dan *section* satu menjadi dua dan menambah crane, dan (3) Penambahan mesin *bevel*, mesin *hydrostactic test* dan *section* dua menjadi dua dan menambah crane.

Tabel 7. Data Output Sistem Tiap Usulan perbaikan

Replikasi	Output Eksisting (Unit)	Output Usulan perbaikan 1 (Unit)	Output Usulan perbaikan 2 (Unit)	Output Usulan perbaikan 3 (Unit)	Total
1	2242	4797	4791	4765	16595
2	2256	4798	4781	4800	16635
3	2259	4817	4798	4774	16648
4	2259	4807	4788	4799	16653
5	2257	4789	4796	4806	16648
6	2247	4766	4799	4735	16547
7	2237	4790	4779	4779	16585
8	2262	4768	4800	4803	16633
9	2252	4763	4789	4764	16568
10	2266	4766	4798	4811	16641
Jumlah	22537	47861	47919	47836	166153

Berdasarkan hasil *output* tersebut selanjutnya akan dilakukan pengujian ANOVA. Analisis varians (*Analysis of Variance* - ANOVA) adalah prosedur statistika untuk mengkaji (mendeterminasi) apakah rata-rata hitung (*mean*) dari 3 (tiga) populasi atau lebih, sama atau tidak. Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada Tabel 8, didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 58009.93681 sedangkan F_{tabel} dari distribusi F (0.05;3;36) = 2.84.

Dengan demikian, $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $79892.6816 > 2.84$. Dengan nilai tersebut, dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak yang berarti bahwa model eksisting, usulan perbaikan 1, usulan perbaikan 2 dan usulan perbaikan 3 mempunyai perbedaan yang *significant*. Dengan kata lain, paling tidak ada satu model usulan perbaikan yang mempunyai perbedaan dengan model eksisting. Oleh karena itu, usulan perbaikan yang dibuat layak untuk dibandingkan.

Tabel 8. Hasil Uji Anova dengan *Software* SPSS 20
 ANOVA

Usulan_Perbaikan					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	48140029.48	3	16046676.49	58009.937	.000
Within Groups	9958.300	36	276.619		
Total	48149987.78	39			

Pada hasil pengujian ANOVA pada Tabel 8 tidak diketahui apa saja yang berbeda dan bagaimana perbedaan yang ada, maka dari itu dilakukan *post-hoc test* dengan menggunakan LSD (*Least Significant Difference*) untuk mengetahui apa saja yang berbeda dan bagaimana perbedaan yang ada. Dan hasilnya dapat terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 9. Hasil Uji LSD *Post Hoc* dengan *Software* SPSS 20
 Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Usulan_Perbaikan
 LSD

(I) Kondisi	(J) Kondisi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Eksisting	Usulan_Perbaikan1	-2532.400*	7.438	.000	-2547.48	-2517.32
	Usulan_Perbaikan2	-2538.200*	7.438	.000	-2553.28	-2523.12
	Usulan_Perbaikan3	-2529.900*	7.438	.000	-2544.98	-2514.82
Usulan_Perbaikan1	Eksisting	2532.400*	7.438	.000	2517.32	2547.48
	Usulan_Perbaikan2	-5.800	7.438	.441	-20.88	9.28
	Usulan_Perbaikan3	2.500	7.438	.739	-12.58	17.58
Usulan_Perbaikan2	Eksisting	2538.200*	7.438	.000	2523.12	2553.28
	Usulan_Perbaikan1	5.800	7.438	.441	-9.28	20.88
	Usulan_Perbaikan3	8.300	7.438	.272	-6.78	23.38
Usulan_Perbaikan3	Eksisting	2529.900*	7.438	.000	2514.82	2544.98
	Usulan_Perbaikan1	-2.500	7.438	.739	-17.58	12.58
	Usulan_Perbaikan2	-8.300	7.438	.272	-23.38	6.78

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan hasil uji *post hoc* menggunakan LSD pada Tabel 9, dapat diperoleh perbandingan antara model *existing* dengan model usulan perbaikan 1 adalah signifikan perbedaannya, hal ini dapat dilihat dari perhitungan μ_1 dan μ_2 yang tidak melewati 0 yaitu $-2547,48 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -2517,32$. Hal tersebut berarti penolakan H_0 dengan kata lain kedua model tersebut berbeda.

Berdasarkan hasil uji *post hoc* menggunakan LSD dapat diperoleh perbandingan antara model *existing* dengan model usulan perbaikan 2 adalah signifikan perbedaannya, hal ini dapat dilihat dari perhitungan μ_1 dan μ_2 yang tidak melewati 0 yaitu $-2553,28 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -2523,12$. Hal tersebut berarti penolakan H_0 dengan kata lain kedua model tersebut berbeda.

Berdasarkan hasil uji *post hoc* menggunakan LSD dapat diperoleh perbandingan antara model *existing* dengan model usulan perbaikan 3 adalah signifikan perbedaannya, hal ini dapat dilihat dari perhitungan μ_1 dan μ_2 yang tidak melewati 0 yaitu $-2544,98 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -2514,82$. Hal tersebut berarti penolakan H_0 dengan kata lain kedua model tersebut berbeda [5].

Tabel 10. Pemilihan Usulan Perbaikan Terbaik

Kondisi	Rata-rata Output (Unit)
Usulan perbaikan 2	4791
Usulan perbaikan 1	4786
Usulan perbaikan 3	4783
<i>Existing</i>	2253

Usulan perbaikan yang dipilih adalah usulan perbaikan dengan rata-rata unit tertinggi. Dari Tabel 10. didapatkan usulan perbaikan 2 adalah usulan perbaikan dengan rata-rata unit produksi tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa usulan perbaikan 2 merupakan pilihan rekomendasi terbaik untuk meningkatkan produktifitas di PT. KHI Pipe Industries.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan pengolahan data yang telah dilakukan di PT. KHI Pipe Industries dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah rata-rata produk pipa yang dihasilkan pada simulasi sistem eksisting produksi pipa baja las spiral yaitu 2253 unit per bulan.
2. Alternatif perbaikan pada proses produksi dilakukan agar produksi pipa baja las spiral dapat meningkat dari keadaan eksisting yaitu usulan perbaikan 1 dengan menambahkan *bevel machine* dan *hydrostatic test machine* menjadi dua unit serta menambahkan *crane* menjadi dua unit untuk perpindahan dari *storage* sementara ke *bevel* dan dari *bevel* ke *hydrostatic test*, usulan perbaikan 2 dengan menambahkan mesin di *section 1*, *bevel machine* dan *hydrostatic test machine* menjadi dua unit serta menambahkan *crane* menjadi dua unit untuk perpindahan dari *storage* sementara ke *bevel* dan dari *bevel* ke *hydrostatic test*, usulan perbaikan 3 dengan menambahkan mesin di *section 2*, *bevel machine* dan *hydrostatic test machine* menjadi dua unit serta menambahkan *crane* menjadi dua unit untuk perpindahan dari *storage* sementara ke *bevel* dan dari *bevel* ke *hydrostatic test*.
3. Jumlah rata-rata produk pipa baja las spiral optimal yang dihasilkan pada alternatif perbaikan terpilih yaitu usulan perbaikan 2 dengan menambahkan mesin di *section 1*, *bevel machine* dan *hydrostatic test machine* menjadi dua unit serta menambahkan *crane* menjadi dua unit untuk perpindahan dari *storage* sementara ke *bevel* dan dari *bevel* ke *hydrostatic test* yaitu 4791 unit per bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Harrell C., 2003, *Simulation Using Promodel*. McGRaw-Hill, New York.
- [2]. Law A., 2006, *Simulation Modeling and Analysis with Expertfit Software*. McGRaw-Hill, New York.

- [3]. Trenggonowati, D.L., 2015, Optimasi Proses Produksi dengan Menggunakan Pendekatan Simulasi Sistem. *Jurnal PASTI*, Volume XI No. 1, 1-12.
- [4]. Trenggonowati, D.L., 2017, Simulation System Optimize The Time Of Process. *Jurnal Performa* ,Vol. 16 No. 2 Hal 134-142.
- [5]. Daellenbach, H.G. 1994 *System and Decision Making: A Management Science Approach*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.