

Penjadwalan Pola Aliran Job Shop 10-Stages Menggunakan Sistem Lelang Untuk Meminimasi Weighted Tardiness

Nurfitriana Sandini¹, Lely Herlina², M. Adha Ilhami³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

nurfitrianasandini@yahoo.co.id¹, lelyherlina@yahoo.com², adha@ft-untirta.ac.id³

ABSTRAK

Pengalokasian tugas-tugas (aktivitas) ke dalam suatu sumber daya agar menghasilkan suatu hasil waktu yang optimal merupakan fokus utama dari berlangsungnya sebuah perencanaan dan pengendalian produksi suatu perusahaan. Salah satu elemen perencanaan dan pengendalian produksi adalah penjadwalan. Penjadwalan adalah salah satu hal yang penting dalam perusahaan manufaktur dan menjadi perhatian yang serius di perusahaan. Penelitian ini diterapkan pada salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi heavy condensers untuk nuclear PP, machining dan assembly of complete LP turbines. Adapun yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah permasalahan penjadwalan yang masih konvensional pada komponen single part dari salah satu produk family yaitu BLR, dimana banyak job yang selesai tidak sesuai dengan due datenya. Produk ini diproses pada rantai pre-fabrikasi yang membentuk pola aliran job shop 10-stages. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penjadwalan dengan menggunakan metode sistem lelang (auction based) untuk meminimasi Weighted Tardiness (WT) dan membandingkan jadwal produksi baru dengan jadwal existing perusahaan. Model penjadwalan sistem lelang yang digunakan adalah model penjadwalan hasil penelitian Ilhami (2010) dengan modifikasi pada list scheduling. Pada penelitian ini, metode Earliest Due Date (EDD) Murni dan EDD with priority rule digunakan sebagai perbandingan dengan hasil penjadwalan sistem lelang. Dari hasil penelitian didapat nilai weighted tardiness penjadwalan dengan sistem lelang sebesar 369, sedangkan dengan metode EDD Murni, EDD with priority rule dan jadwal existing perusahaan masing-masing memberikan nilai 390, 420 dan 466. Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa penjadwalan sistem lelang adalah yang paling baik karena memberikan nilai weighted tardiness paling minimum diantara ketiga penjadwalan yang telah dilakukan.

Kata kunci: Penjadwalan, Weighted Tardiness, Sistem Lelang, Earliest Due Date (EDD).

PENDAHULUAN

Pengalokasian tugas-tugas (aktivitas) ke dalam suatu sumber daya agar menghasilkan suatu hasil waktu yang optimal merupakan fokus utama dari berlangsungnya sebuah perencanaan dan pengendalian produksi suatu perusahaan. Perencanaan dan pengendalian produksi berfungsi sebagai perencanaan aktivitas untuk melaporkan hasil operasi dan meninjau kembali rencana yang diperlukan agar keinginan yang dijadikan tujuan tercapai. Salah satu elemen dalam perencanaan dan pengendalian produksi adalah penjadwalan^[1].

Penjadwalan adalah kegiatan pengalokasian sumber daya untuk mengerjakan suatu job pada suatu waktu^[2]. Oleh karena itu, masalah penjadwalan menjadi perhatian yang serius di perusahaan. PT SPS adalah salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi heavy condensers untuk nuclear PP, machining dan assembly of complete LP turbines.

Adapun fokus pada penelitian ini adalah komponen single part dari produk BLR pada proses produksi di rantai pre-fabrikasi ini menggunakan 10 mesin (10 stages) yang membentuk pola aliran job shop

dan dalam proses produksinya terdapat sebuah aturan prioritas pengerjaan dari 3 komponen utama single part (Outer ring, Intermediate ring dan Inner ring). Permasalahan job shop scheduling termasuk kategori kasus NP-hard, karena semakin besar ukuran problem, maka waktu komputasi yang diperlukan untuk menyelesaikan problem akan semakin lama. Misal terdapat kasus dengan 4 job dengan 3 mesin, sehingga total kemungkinan penjadwalan sebesar $(4!)^3 = 13824$.^[3] Sementara itu, dalam penelitian ini terdapat 12 job dengan 10 mesin sehingga total kemungkinan penjadwalan adalah sebesar 636×10^{88} ini menunjukkan perlunya waktu yang sangat lama untuk mendapatkan solusi optimal jika menggunakan pendekatan total enumerasi.

Produk BLR ini pada tahun 2012 mengalami banyak keterlambatan sehingga perusahaan harus dapat meminimasi job yang terlambat, agar income perusahaan menjadi bertambah karena perusahaan tidak perlu mengeluarkan biaya yang diakibatkan oleh keterlambatan produksi. Pengurangan keterlambatan yang terjadi di PT SPS diperlukan suatu metode penjadwalan baru untuk meminimasi weighted

tardiness. Untuk meminimasi *weighted tardiness*, salah satu metode yang dipakai dalam penjadwalan adalah penjadwalan sistem lelang seperti yang dilakukan Ilhami pada penelitiannya di tahun 2010.

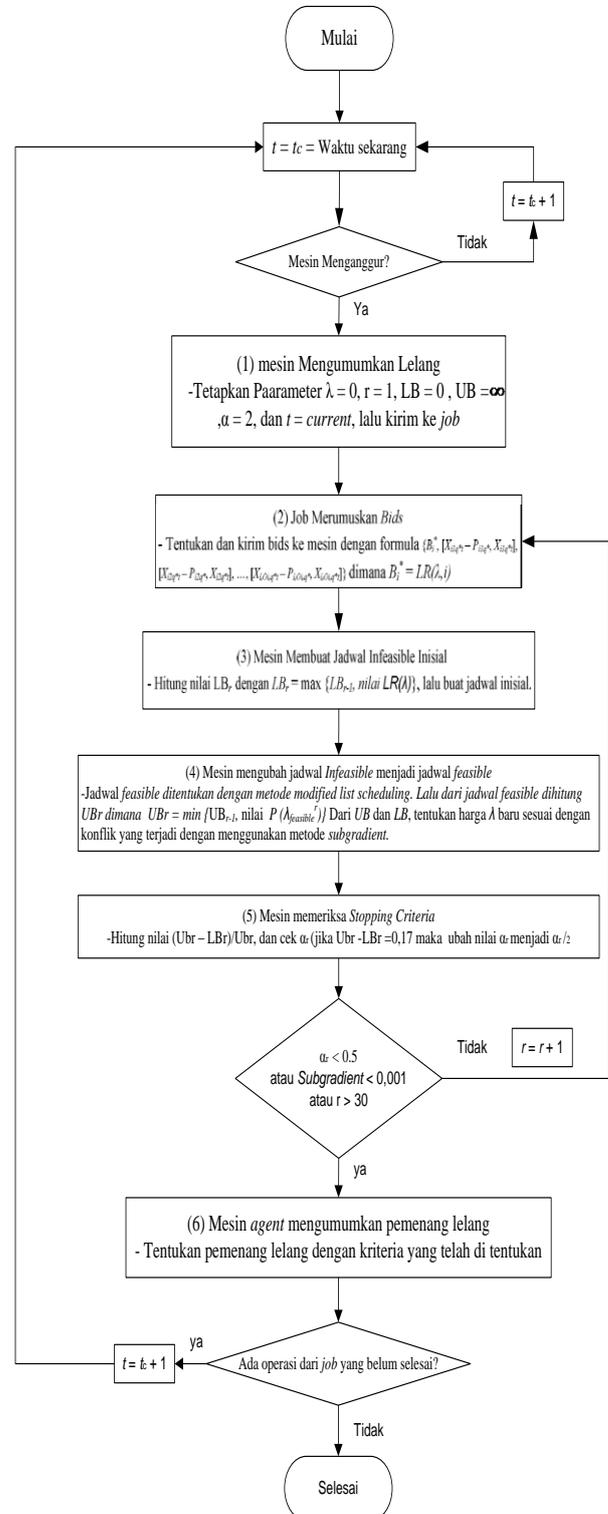
Dalam beberapa penelitian sebelumnya seperti Julaha^[4] menguraikan tentang penggunaan penjadwalan metode lelang dalam penjadwalan mesin paralel. Pada penelitian tersebut penjadwalan hanya menguraikan penjadwalan pada mesin paralel, Wibisono^[5] tentang penjadwalan lelang pada pola aliran *flexible flow shop 2-stage*, dan Sari^[6] yang menguraikan penjadwalan lelang pada penjadwalan *single machine* dimana dalam proses penjadwalannya mempertimbangkan pengaruh pergantian *grade*. Semua penelitian tersebut telah membuktikan bahwa penjadwalan sistem lelang mampu mencapai kriteria performansi yang diharapkan yaitu meminimasi *weighted tardiness*. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum ada yang menguraikan mengenai penjadwalan dengan pola aliran *job shop*. Untuk itu, pada penelitian ini akan menguraikan penjadwalan pada pola aliran *job shop* dengan 10-stage pada proses *pre-fabrikasi* komponen *single part* BLR dengan menggunakan metode sistem lelang untuk mendapatkan nilai *weighted tardiness* yang minimal dan metode *Earliest due date* (EDD) sebagai pembanding metode lelang. EDD yang digunakan terdiri dari EDD yang mempertimbangkan aturan prioritas dan tanpa mempertimbangkan aturan prioritas (Murni).

METODE PENELITIAN

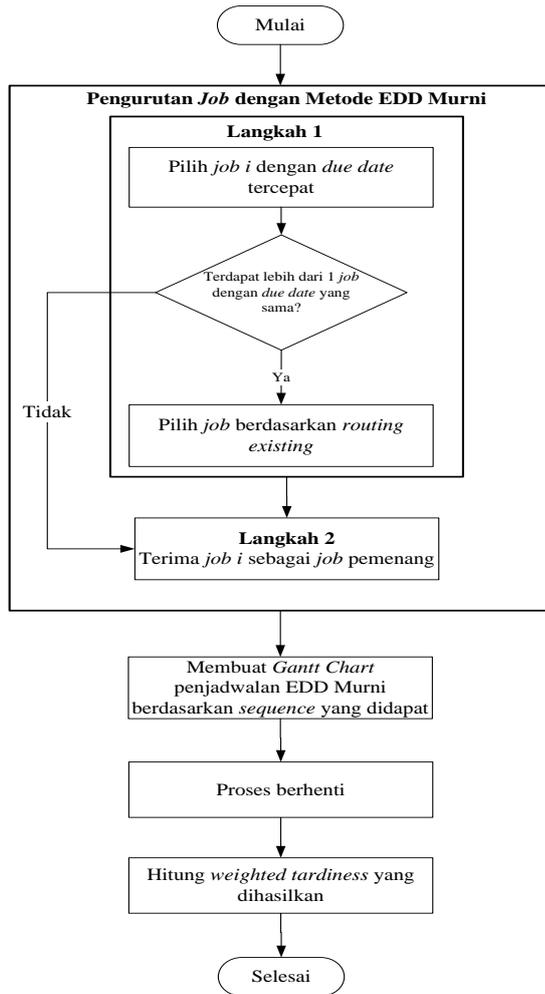
Metode penelitian dimulai dengan studi literatur dan studi lapangan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dan situasi yang ada pada perusahaan, dilanjutkan dengan perumusan masalah untuk mengetahui permasalahan apa saja yang akan dimunculkan, lalu menentukan tujuan penelitian dari perumusan masalah yang telah dibuat, dan menentukan batasan masalah untuk mendukung penelitian dan agar permasalahan dan penelitian tidak melebar dari tujuan penelitian yang telah dibuat. Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data umum perusahaan, jumlah dan jenis mesin yang digunakan, data produksi, data *duedate job*, data waktu proses, dan data bobot keterlambatan. Dari data yang diperoleh dilakukan pengolahan data dimana pengolahan data yang dilakukan adalah pertama pengembangan algoritma penjadwalan sistem lelang pada pola aliran *job shop*, kedua perhitungan penjadwalan dengan metode sistem lelang dan ketiga perhitungan penjadwalan dengan metode *earliest due date* (EDD) Murni dan EDD *with Priority Rule*. Adapun pengembangan algoritma sistem lelang tersebut yaitu aturan sistem lelang untuk pola aliran *job shop 10-stages* yaitu penentuan aturan dan perumusan *bidding*, perubahan harga dengan *sub gradient*, dan modifikasi *list scheduling* dilanjutkan dengan perancangan algoritma sistem lelang dan uji coba model. Setelah diolah selanjutnya data dianalisa untuk menerjemahkan hasil pengolahan data, kemudian menyimpulkannya

untuk menjawab tujuan dari penelitian dan member saran kepada perusahaan yang diteliti dan penelitian selanjutnya.

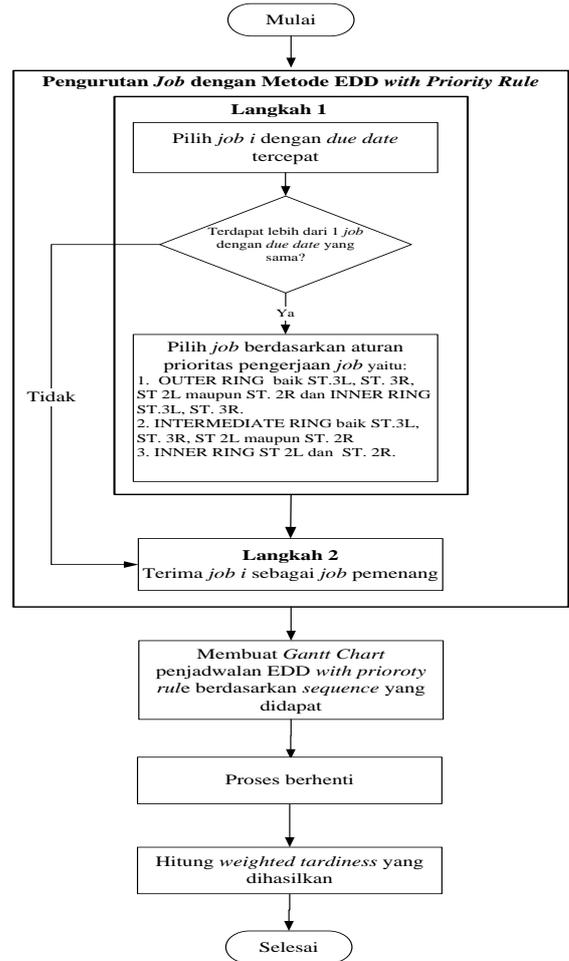
Di bawah ini disajikan *flow chart* dari sistem lelang, *Earliest Due Date* (EDD) Murni dan EDD *with priority rule*.



Gambar 1. Flow Chart Sistem Lelang



Gambar 2. Flow Chart Metode EDD Murni



Gambar 3. Flow Chart Metode EDD with Priority Rule

Tabel 1. Data Produksi Komponen Single Part BLR

No	Project	Job (komponen)	Spesifikasi	Jumlah (unit)	Arrival	Processing time (hari)										duedate	Bobot	
						CNC	Chamfer Debur Stamping	Rolling	Sawing	SAW Rotary	Blasting	Turning	Drilling	Fitting	Welding		earliness	lateness
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	13092-Shoaiba II CCPP - PR 2-Bladerings	3L	OUTER RING ST.3L DG.326628/22 & INNER RING ST.3L DG. 326629/23	78	0	3.00	4.00	2.00	1.00		1.00		1.00	1.00	1.00	14	1	6
2		3L	INTERMEDIATE RING LEFT DG.326791/90	2	0	1.00	1.00	3.00					1.00	1.00	14	1	4	
3		3L	INTERMEDIATE RING LEFT DG.326791/90	10	0	1.00	1.00	0.00					1.00	1.00	14	1	4	
4		2R	OUTER RING ST.2R DG.326618/12	26	0	1.00	2.00	4.00					1.00	1.00	3.00	10	1	6
5		2R	INNER RING ST.2R DG.326619/13	2	0	1.00	1.00	1.00							10	1	2	
6		3R	OUTER RING ST.3R DG.326628/22 & INNER RING ST.3R DG. 326629/23	112	0	3.00	4.00	2.00	1.00		1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	14	1	6
7		3R	INTERMEDIATE RING RIGHT DG.326791/90	2	0	1.00	1.00	3.00					1.00		14	1	4	
8		3R	INTERMEDIATE RING RIGHT DG.326791/90	10	0	1.00	1.00	0.00					1.00		14	1	4	
9		13046-POSCO Power 90	2L	OUTER RING ST.2L DG.326618/12	26	0	1.00	2.00	4.00				1.00	1.00	3.00	25	1	6
10			2L	INNER RING ST.2L DG.326619/13	2	0	1.00	1.00	1.00						25	1	2	
11			3L	OUTER RING ST.3L DG.326628/22 & INNER RING ST.3L DG. 326629/23	114	0	3.00	6.00	3.00	2.00	3.00	1.00	3.00	1.00	3.00	29	1	6
12			3L	INTERMEDIATE RING LEFT DG.326791/90	10	0	1.00	1.00	0.00					1.00		29	1	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 di atas disajikan data produksi untuk komponen *single part* produk *Bladering* pada departemen pre-fabrikasi PT SPS untuk periode 1-20 November 2012.

Performansi penjadwalan ini adalah meminimasi *Weighted Tardiness (WT)*. Dimana *WT* adalah jumlah *earliness (E)* dan *lateness (L)* yang telah dikali dengan nilai bobot keterlambatannya sehingga formulasinya adalah:

$$T = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{TC} (E + L) \quad (1)$$

Dimana

$$E = \max \left(0, di - \sum_{t=1}^{TC} tx_{i,t} \right) \quad (2)$$

$$L = \max \left(0, \sum_{t=1}^{TC} tx_{i,t} - di \right) \quad (3)$$

Sehingga dapat ditulis:

$$WT = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{TC} \left(\begin{matrix} \varepsilon_i \left[\max \left(0, di - \sum_{t=1}^{TC} tx_{i,t} \right) \right] + \\ \tau_i \left[\max \left(0, \sum_{t=1}^{TC} tx_{i,t} - di \right) \right] \end{matrix} \right) \quad (4)$$

Sehingga fungsi tujuannya dapat ditulis

$$Ft = \min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{TC} WT \quad (5)$$

Aturan Sistem Lelang

Model penjadwalan sistem lelang yang digunakan adalah model penjadwalan hasil penelitian Ilhami [7]. Dengan memodifikasi mekanisme lelang pada *list scheduling*. *List scheduling* adalah metode untuk membuat susunan (*list*) dari *job-job* yang akan digunakan untuk membuat jadwal *feasible*.

a. Perumusan Bids Oleh Job

Untuk mencari *bids* yang akan dijadikan harga *bidding job* yang mempunyai nilai *bids* terkecil yang dipilih, jika terdapat *bids* yang sama maka *bids* yang dipilih adalah *bids* yang mempunyai *start time* paling awal. Formula yang digunakan adalah:

$$WT_i + \sum_{t=1}^{TC} \lambda mt (X_{ijt} Y_{ijm}) \quad (6)$$

WT_i = *Weighted tardiness job i*

λmt = *Multiplier lagrange* untuk mesin *m* pada periode waktu *t*.

Y_{ijm} = Indeks {0, 1}, bernilai 1 jika *job i* operasi *j* dikerjakan pada mesin *m*, bernilai 0 jika tidak.

X_{ijt} = Merupakan variabel keputusan yang bernilai {0, 1}, bernilai 1 jika *job i* operasi *j* selesai dikerjakan di slot waktu *t*, dan bernilai 0 jika tidak.

Dalam menentukan perumusan posisi *bids* oleh *job* didasarkan pada pendekatan *forward & backward Scheduling*.

b. Mekanisme perubahan harga (λ)

Perubahan harga lamda (λ) dibuat agar dapat mengurangi jumlah slot waktu yang terjadi konflik. Konflik adalah suatu keadaan dimana terdapat lebih dari satu *job* menginginkan slot waktu yang dimiliki mesin pada waktu yang bersamaan. Perubahan harga lamda (λ) ini, menggunakan algoritma *sub gradient* [7] dan [8]. Perubahan harga lamda (λ) dipengaruhi oleh banyaknya konflik yang terjadi pada suatu slot waktu, konflik ini akan mempengaruhi nilai *sub gradient*. *Sub gradient* dihitung untuk meng-update perubahan harga lamda λ dengan menggunakan rumus:

$$S_r = \frac{\alpha^r (UB^r - LB^r)}{\left[\sum_{t=1}^{TC} (SG_{mt}^r)^2 \right] x2} \quad (7)$$

Dengan:

α^r = nilai *alpha* pada iterasi *r*

UB^r = *Upper bound* pada iterasi *r*

LB^r = *Lower bound* pada iterasi *r*

SG_{mt}^r = Konflik yang terjadi pada suatu slot waktu tertentu pada mesin *m* di iterasi *r*.

$$SG_{mt}^r = \left(\sum_{i=1}^N X_{it} - 1 \right) \forall t > \text{waktu sekarang}$$

Harga lamda (λ) yang baru berdasarkan persamaan:

$$(F_s) \lambda_{mt}^{r+1} = \max \{ 0, \lambda_{mt}^r + S^r SG_{mt}^r \} \quad (8)$$

Dengan:

λmt = *Multiplier lagrange* (harga lamda) untuk mesin *m* pada periode waktu *t* untuk iterasi *r+1*

c. Perumusan jadwal *feasible*

Jadwal yang diperoleh dari jadwal inisial sangat memungkinkan menjadi tidak *feasible* karena terjadinya konflik di beberapa slot waktu, sehingga perlu adanya mekanisme yang membuat jadwal *infeasible* menjadi jadwal *feasible* yaitu dengan *list scheduling*. Modifikasi *list scheduling* tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pilih *job* dengan *start time* tercepat atau *Earliest possible start time (PST)*.
2. Jika pada suatu mesin terdapat dua atau lebih *job* dengan *start time* yang sama pada slot waktu *t*, maka digunakan kriteria *earliest due date (EDD)*.
3. Jika *EDD* sama maka pilih *job* yang mempunyai bobot *lateness* terbesar.
4. Jika bobot *lateness* sama maka pilih *job* dengan waktu proses terkecil/ *Shortest processing Time (SPT)* pada operasi proses yang konflik tersebut.

5. Jika SPT sama maka pilih *job* dengan total waktu penyelesaian seluruh proses terbesar.
6. Jika lima kriteria di atas masih sama juga (masih terjadi konflik) maka pilih *job* dengan sisa waktu proses operasi terbesar.
7. Jika masih terjadi konflik maka pilih sembarang.

Perancangan Mekanisme Lelang

Mekanisme lelang ini adalah tata cara pelelangan untuk mendapatkan solusi sistem yang mendekati optimal. Mekanisme penjadwalan sistem lelang yang digunakan pada penelitian ini menjadi:

Langkah 1 Mesin Menginisiasi Parameter.

Mesin menginisiasi parameter yang diperlukan, dimana:

- t = Waktu sekarang
- r = Ronde lelang
- λ_{mt} = *Multiplier lagrange* untuk periode waktu t pada mesin (harga sebuah slot waktu), untuk $r = 1$ nilai $\lambda_{mt} = 0$
- LBr = *Lower bond*, untuk $r = 1$ nilai $LBr = 0$
- UBr = *Upper bond*, untuk $r = 1$ nilai $UBr = \infty$
- α = alpha, untuk $r = 1$ nilai $\alpha = 2$

Mesin mengirimkan informasi lamda (λ) ke *job*.

Langkah 2 *Job* Membuat *Bids* (Penawaran).

Job membuat *bid* dari informasi lamda (λ) yang dikirim mesin, dengan mencari solusi terbaik. Pemilihan *bid* yang menjadi solusi terbaik dengan aturan sebagai berikut:

- a) Slot waktu yang mempunyai *bid* paling rendah.
- b) Memiliki *start time* yang paling awal.

Lalu *job* akan mengirimkan informasi kepada mesin.

Langkah 3 Mesin Mengumpulkan Seluruh *Bid* dan Membentuk Jadwal Inisial.

Mesin membuat jadwal inisial dan menghitung *lower bond* (LB) adalah maksimal dari $\{LBr_{r-1}, \text{nilai dari } LR(\lambda_r)\}$. Dimana $LR(\lambda_r)$ dapat ditulis dengan rumus (Ilhami, 2010) pada persamaan 3.5 di bawah ini:

$$LR(\lambda) = \max \sum_{t=1}^{TC} WT_t + \sum_{m=1}^M \lambda_{mt}(X_{ijt}Y_{ijm}) \quad (9)$$

Jika jadwal inisial sudah *feasible* maka ronde lelang berhenti, jika jadwal belum *feasible* lanjutkan ke langkah berikutnya.

Langkah 4 Membuat Jadwal *Feasible* dan Menghitung Harga Lamda (λ) Baru.

Membuat jadwal *feasible* dari jadwal inisial di langkah 3. Untuk membuat jadwal *feasible* tersebut diperlukan *list scheduling* untuk pemilihan *job* sebagai pemenang slot waktu yang diperebutkan. Menghitung biaya penggunaan dari jadwal *feasible* dengan harga lamda (λ) yang telah di tetapkan pada langkah 1. Harga *bid* sebuah *job* pada mesin tertentu dengan menjumlahkan harga lamda selama slot waktu yang di-*bidding* oleh

job. Menghitung *upper bond* (UB) adalah minimal dari $\{UBr_{r-1}, \text{nilai dari } LD(\lambda_r)\}$. Dimana $LD(\lambda_r)$ dapat ditulis dengan rumus (Ilhami, 2010).

$$LD(\lambda_r) = \min \left[\sum_{i=1}^{TC} WTI_i + \sum_{m=1}^M \lambda_{mt}(X_{ijt}Y_{ijm}) - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{TC} \lambda_{mt} \right] \quad (10)$$

Mengecek gap dari *sub gradient* yang didapat, dengan rumus:

$$Gap = S_r - S_{r-1} \quad (11)$$

$$Gap \geq 0.17 \rightarrow \alpha_{r+1} = \alpha_r, \text{ jika tidak maka } \alpha_{r+1} = \frac{\alpha_r}{2}$$

Langkah 5 Mesin memeriksa *stopping criteria*.

Modifikasi *stopping criteria* pada penelitian ini menjadi:

- Sub gradient* < 0.001
- Alpha $\alpha < 0.5$
- Iterasi $r > 30$

Jika salah satu kriteria pada *stopping criteria* tidak terpenuhi maka iterasi dilanjutkan ke langkah 2.

Perhitungan Sistem Lelang

Dari perhitungan dengan menggunakan sistem lelang sampai terpenuhi *stopping criteria* terdapat 6 iterasi. Tabel 3 adalah rekapitulasi hasil dari ke 12 iterasi tersebut. Dari hasil perhitungan didapat bahwa penjadwalan yang mendekati optimal terdapat pada iterasi 5 dengan nilai *weighted tardiness* 369.

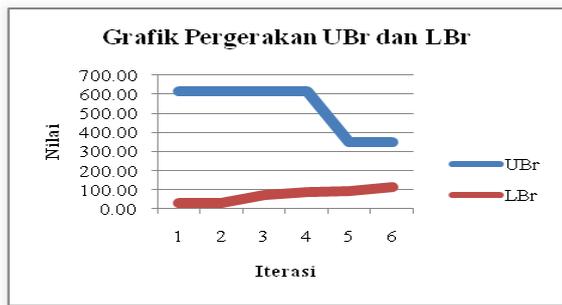
Tabel 2. Perhitungan *weighted Tardiness* sistem lelang

Job	Bids	E	L	WE	WL	Bids + WT
1	44.05	0	9	0	54	98
2	21.37	0	0	0	0	21.4
3	0.00	0	10	0	40	40
4	33.20	0	2	0	12	45.2
5	5.28	0	6	0	12	17.3
6	12.78	0	14	0	84	96.8
7	23.20	0	2	0	8	31.2
8	0.00	0	10	0	40	40
9	0.00	0	9	0	54	54
10	0.00	0	5	0	10	10
11	4.62	0	9	0	54	58.6
12	0.00	1	0	1	0	1
Total						513
T.Lamda						164
Selisih						350
						Ubr 350
						WT 369

Tabel 3. Rekap Hasil Seluruh Iterasi

Iterasi	LBr	UBr	Alpha	WT	Sub Gradient
1	30.00	618.00	2.00	618.00	1.07
2	30.00	618.00	2.00	944.00	1.38
3	73.28	618.00	1.00	944.00	1.32
4	90.44	618.00	1.00	918.00	0.66
5	94.97	349.92	1.00	369.00	0.39
6	113.28	349.92	0.50	518.00	0.40

Pada Gambar 4 di bawah ini disajikan bahwa nilai UBr dan LBr semakin berdekatan dengan seiringnya pergerakan iterasi.



Gambar 4. Grafik Pergerakan UBr dan LBr

Nilai *UBr* dan *LBr* semakin berdekatan dengan seiringnya pergerakan iterasi (ronde lelang). Semakin dekat selisih antara *UBr* dan *LBr*, mengindikasikan bahwa jadwal yang dihasilkan dari *bidding* oleh *job* hampir sama dengan jadwal *feasible* yang dibuat mesin. Artinya konflik yang terjadi makin kecil dan jadwal semakin *feasible*. Idealnya adalah jadwal yang dihasilkan dari hasil *bidding* oleh *job* itu sama dengan jadwal yang dibuat oleh mesin yang artinya *UBr* sama dengan *Lbr*.

Perbandingan dengan Metode EDD

Hasil perhitungan dengan *Earliest Due Date* akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan penjadwalan sistem lelang. Hal ini dimaksudkan agar dapat diketahui metode mana yang lebih mendekati nilai optimal dengan performansi minimasi *weighted tardiness*.

Penjadwalan 12 *job* dengan 10-stage menggunakan EDD ini terbagi menjadi 2 yaitu:

1. EDD murni yaitu pengurutan *job* yang disusun hanya berdasarkan *duedate* terkecil dan *routing* berdasarkan jadwal *existing*.
2. EDD with *priority rule*. Prinsip dalam EDD with *priority rule* ini tetap sama dengan EDD murni namun terdapat modifikasi ketika terdapat *job* yang memiliki *duedate* sama. Ketika terjadi hal tersebut maka urutan *job* yang disusun berdasarkan *priority rule* pengerjaan produk. *Priority* tersebut yaitu:
 - i. OUTER RING baik ST.3L, ST. 3R, ST 2L maupun ST. 2R dan INNER RING ST.3L, ST. 3R.
 - ii. INTERMEDIATE RING baik ST.3L, ST. 3R, ST 2L maupun ST. 2R
 - iii. INNER RING ST 2L dan ST. 2R.

Tabel 4. Perhitungan *Weighted Tardiness* Metode EDD Murni

Job	waktu selesai (t-ke)	Due date (t-ke)	Bobot		E	L	WE	WL	WT
			E	L					
1	16	14	1	6	0	2	0	12	390
2	19	14	1	4	0	5	0	20	
3	20	14	1	4	0	6	0	24	
4	12	10	1	6	0	2	0	12	
5	8	10	1	2	2	0	2	0	
6	25	14	1	6	0	11	0	66	
7	25	14	1	4	0	11	0	44	
8	26	14	1	4	0	12	0	48	
9	30	25	1	6	0	5	0	30	
10	25	25	1	2	0	0	0	0	
11	43	29	1	6	0	14	0	84	
12	41	29	1	4	0	12	0	48	

Tabel 5. Perhitungan *Weighted Tardiness* Metode EDD with *Priority Rule*

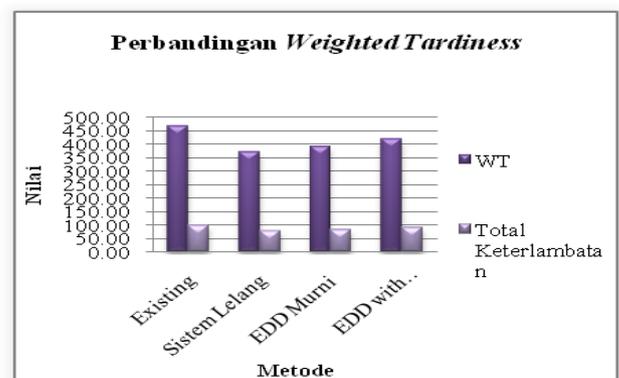
Job	waktu selesai (t-ke)	Due date (t-ke)	Bobot		E	L	WE	WL	WT
			E	L					
1	16	14	1	6	0	2	0	12	420
2	24	14	1	4	0	10	0	40	
3	25	14	1	4	0	11	0	44	
4	12	10	1	6	0	2	0	12	
5	8	10	1	2	2	0	2	0	
6	23	14	1	6	0	9	0	54	
7	25	14	1	4	0	11	0	44	
8	26	14	1	4	0	12	0	48	
9	30	25	1	6	0	5	0	30	
10	26	25	1	2	0	1	0	2	
11	43	29	1	6	0	14	0	84	
12	41	29	1	4	0	12	0	48	

Perhitungan *Weighted Tardiness Existing*

Perhitungan *weighted tardiness* digunakan agar kondisi *existing* dapat di bandingkan dengan metode sistem lelang dan metode EDD, didapatkan WT 466.

Analisa perbandingan

Dari hasil penjadwalan yang telah dilakukan maka dilakukan perbandingan penjadwalan dari *existing*, sistem lelang, dan metode EDD baik EDD murni maupun EDD with *priority rule*, untuk menunjukkan metode yang dapat memberikan solusi yang lebih baik dalam meminimasi *weighted tardiness*. Perbandingan penjadwalan dari *existing*, sistem lelang, dan metode EDD baik EDD murni maupun EDD with *priority rule* telah tersaji pada Tabel 6 dan Gambar 5 berikut :



Gambar 5. Grafik Perbandingan *Weighted Tardiness*

Dari Tabel 6 terlihat bahwa untuk urutan *job* pada *stage* ke-4 (mesin Sawing) sampai dengan *stage* ke-8 (mesin Drilling) menghasilkan urutan *job* yang sama untuk metode lelang, EDD murni dan EDD with *priority rule*. Sehingga dapat dipastikan bahwa urutan *job* tersebut adalah urutan *job* yang paling optimal dengan menggunakan ketiga metode tersebut. Berdasarkan hasil *weighted tardiness* yang dihasilkan dari jadwal *existing*, sistem lelang, EDD Murni dan EDD with *Priority Rule*, metode Lelang menjadi metode yang dapat memberikan *weighted tardiness* paling minimum sehingga metode lelang dapat ditetapkan sebagai metode yang mampu mencapai performansi sistem yang diinginkan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Perbandingan Penjadwalan Existing, Sistem Lelang, dan Metode EDD

Metode	Total Keterlambatan	WT	Urutan Job pada Mesin									
			CNC	Chamfer Debur Stamping	Rolling	Sawing	SAW Rotary	Blasting	Turning	Drilling	Fitting	Welding
Existing	98.00	466.00	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-12	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12	1-2-4-5-6-7-9-10-11	1-6-11	11	1-6-11	6-11	1-4-6-9-11	1-2-3-4-6-7-8-9-11-12	1-2-3-4-6-9-11
Sistem Lelang	77.00	369.00	4-1-6-2-7-5-11-3-8-9-10	4-1-2-7-5-6-11-3-8-9-10-12	4-2-7-5-1-6-11-9-10	1-6-11	11	1-6-11	6-11	4-1-6-9-11	4-2-7-1-3-8-6-12-9-11	4-2-1-3-6-9-11
EDD Murni	82.00	390.00	4-5-1-2-3-6-7-8-9-10-11-12	4-5-1-2-3-6-7-8-9-10-11-12	4-5-1-2-6-7-9-10-11	1-6-11	11	1-6-11	6-11	4-1-6-9-11	4-1-2-3-6-7-8-9-11-12	4-1-2-3-6-9-11
EDD with priority rule	91.00	420.00	4-5-1-6-2-3-7-8-9-10-11-12	4-5-1-6-2-3-7-8-9-10-11-12	4-5-1-6-2-7-9-10-11	1-6-11	11	1-6-11	6-11	4-1-6-9-11	4-1-6-2-3-7-8-9-11-12	4-1-6-2-3-9-11
LPT	201.00	841.00	11-6-1-4-9-2-7-3-5-8-10-12	11-6-1-4-9-2-7-3-5-8-10-12	11-6-1-4-9-2-7-5-10	11-6-1	11	11-6-1	11-6	11-6-1-4-9	11-6-1-4-9-2-7-3-8-12	11-6-1-4-9-2-3

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penjadwalan *job* pada masing-masing *stage* dapat disimpulkan dalam membangun mekanisme penjadwalan untuk lantai *pre-fabrikasi* PT SPS dengan menggunakan sistem lelang untuk meminimasi *weighted tardiness* didapatkan hasil mendekati optimal pada ronde (iterasi) 5. Adapun langkah-langkah mekanisme lelangnya adalah langkah 1 : Mesin sebagai juru lelang dan mengumumkan lelang; Mesin menginisiasi parameter ($r = 5$, $LBr = 90$, $UBr = 618$, $\alpha = 1$). Langkah 2: Membuat *bid* (penawaran) ; *Bidding* awal yang diajukan oleh *job 1 - job 12* secara berurutan adalah 54, 13, 3, 45, 8, 71, 13, 3, 9, 0, 40, 0. Langkah 3: Juru lelang menerima *bids* dan membuat jadwal inisial; dari jadwal inisial dihasilkan nilai LBr adalah 95. Langkah 4: Mesin memodifikasi jadwal *infeasible* ke jadwal *feasible* dan menyesuaikan harga (λmt) untuk ronde berikutnya ; dari jadwal *feasible* dihasilkan nilai UBr adalah 350 dan WT sebesar 369. Langkah 5: Mesin memeriksa *stopping criteria*; nilai Subgradien = 0,39, $\alpha = 1$ dan iterasi 5 maka lanjutkan iterasi. Dari hasil penjadwalan dengan sistem lelang diperoleh jadwal pada mesin CNC: *Job* (4-1-6- 2- 7- 5-11-3-8- 9-10-12); mesin Chamfer Debur Stamping : *Job* (4-1- 2-7-5-6-11-3-8-9-10-12); mesin Rolling : *Job* (4-2-7-5-1-6-11-9-10); mesin Sawing : *Job* (1-6-11); mesin Saw Rotary : *Job* 11; mesin Blasting : *Job*(1-6-11); mesin Turning : *Job* (6-11) ; mesin Drilling : *Job* (4-1- 6- 9-1); mesin Fitting : *Job*(4-2-7-1-3-8-6-12-9-11); mesin Welding : *Job* (4-2-1-3-6-9-11). Jadwal produksi yang dihasilkan dengan menggunakan metode *earliest due date* (EDD) berdasarkan *priority rule* dan tanpa *priority rule* untuk meminimasi *weighted tardiness* untuk EDD Murni yaitu pada mesin CNC: *Job* (4-5-1-2-3-6-7-8- 9-10-11-12) ; mesin Chamfer Debur Stamping : *Job* (4- 5-1-2-3-6-7-8-9-10-11-12); mesin Rolling : *Job* (4-5-1-2-6-7-9-10-11) ; mesin Sawing : *Job* (1-6-11); mesin Saw Rotary : *Job* 11; mesin Blasting : *Job* (1- 6-11) ; mesin Turning: *Job* (6-11) ; mesin Drilling: *Job* (4-1-6-9-1) ; mesin Fitting : *Job* (4-1-2-3-6-7-8-9-11-12); mesin Welding: *Job* (4-1-2-3-6-9-11). Sementara dengan EDD with *Priority Rule* yaitu pada mesin CNC : *Job* (4-5-1-6-2-3-7-8-9-10-11-12); mesin Chamfer Debur Stamping : *Job* (4-5-1-6-2-3-7-8-9-10-11-12); mesin Rolling : *Job* (4-5-1-6-2-7-9-10-11); mesin

Sawing : *Job* (1-6-11); mesin Saw Rotary : *Job* 11; mesin Blasting : *Job* (1-6-11); mesin Turning : *Job* (6-11) ; mesin Drilling : *Job* (4-1-6- 9-1); mesin Fitting : *Job* (4-1-6-2-3-7-8-9-11-12) ; mesin Welding : *Job* (4-1-6-2-3-9-11). Jadwal produksi baru dengan metode EDD Murni, metode EDD with *priority rule* dan metode lelang dibandingkan dengan jadwal *existing* memberikan nilai *weighted tardiness* yang lebih kecil. Jadwal produksi dengan sistem lelang memberikan nilai *weighted tardiness* sebesar 369, dengan metode EDD Murni, EDD with *priority rule* dan jadwal *existing* masing-masing memberikan nilai 390, 420 dan 466. Sehingga jadwal produksi dengan sistem lelang dapat ditetapkan sebagai metode untuk mencapai performansi sistem yang diinginkan yaitu meminimasi memberikan nilai *weighted tardiness* dibanding kondisi *existing*, EDD Murni maupun EDD with *priority rule*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifin, M., dan Rudyanto, A. 2010. Perancangan Sistem Informasi Penjadwalan Produksi Paving Block Pada CV. Eko Joyo. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2010 (SNATI 2010)*. Yogyakarta, 19 Juni 2010.
- [2] Baker, K. R. 1974. *Introduction to Sequencing dan Scheduling*. John Wiley dan Sons Inc. New York.
- [3] Budiman, A. 2010, Pendekatan Cross Entropy-Genetic Algorithm untuk Permasalahan Penjadwalan Job shop tanpa Waktu Tunggu Pada Banyak Mesin. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Julaeha, E. 2011. Penjadwalan Mesin Paralel dengan Sistem Lelang untuk Meminimasi Weighted Tardiness. *Skripsi*. Jurusan Teknik Industri Untirta Cilegon.
- [5] Wibisono, D.,A. 2012. Penjadwalan Mesin Pada Pola Aliran Flexible Flow Shop 2-Stage Dengan Sistem Lelang Untuk Meminimasi Weighted Tardiness. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Industri, FT Untirta, Cilegon.
- [6] Sari, C.K. 2012. Penjadwalan Plant Produksi Metalic Coating Line (MCL) Untuk meminimasi Weighted Tardiness dengan Mempertimbangkan Non Prime Product Menggunakan Sistem Lelang di PT. X. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Industri, FT Untirta, Cilegon.
- [7] Ilhami, M. A., 2010. Pengembangan Model Penjadwalan Job Shop Dinamis yang Mempertimbangkan Routing Alternatif dengan Menggunakan Sistem Lelang. *Tesis*. Teknik dan Manajemen Industri. ITB Bandung.
- [8] Dewan, P.,et al. 2002. Auction-Based Distributed Scheduling in a Dynamic Job Shop Environment. *International Journal of Production System*. vol. 40. no.5.