

Penjadwalan Pola Aliran Flow Shop 1-Stage dengan Sistem Lelang Untuk Meminimasi Weighted Tardiness dengan Mempertimbangkan Maintenance dan Waktu Set Up

Irfan Muhammad¹, M.Adha Ilhami.², Evi Febianti³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
irfan_miusz@yahoo.com¹, adha@untirta.ac.id², evifebianti@yahoo.com³

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan di perusahaan manufaktur yang memproduksi pipa baja las spiral dan longitudinal. Penelitian dilatarbelakangi dari permasalahan penjadwalan yang masih konvensional di perusahaan yang mana banyak job yang selesai tidak sesuai dengan due datenya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penjadwalan dengan menggunakan metode sistem lelang (auction based) untuk meminimasi weighted tardiness dan membandingkan jadwal produksi usulan dengan jadwal inisial di perusahaan. Model penjadwalan sistem lelang mengadopsi dari sistem lelang pada umumnya dimana mesin sebagai juru lelang, job sebagai peserta lelang dan slot waktu sebagai barang yang dilelang. Pada penelitian ini metode EDD digunakan sebagai perbandingan dengan hasil penjadwalan sistem lelang. Dari hasil penelitian didapat nilai weighted tardiness penjadwalan dengan sistem lelang yang optimal dalam arti lebih minimasi dibanding dengan metode EDD dan kondisi existing dengan nilai weighted tardiness sebesar 39, dibandingkan dengan nilai weighted tardiness pada metode EDD dan kondisi existing sebesar 106 dan 45. Dengan demikian penjadwalan dengan metode lelang lebih optimal dibanding dengan metode EDD dan kondisi existing dengan urutan jadwal pada mesin ERW adalah Job 1-Job 2-Job 3-Job 5-Job 4-Job 6-Job 7-Job 8-Job 9.

Kata kunci: Penjadwalan Sistem Lelang, Weighted Tardiness, Flow Shop 1-Stage, Sistem Lelang, Earliest Due Date (EDD)

PENDAHULUAN

PT.XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi pipa baja las. Pipa baja yang diproduksi terbagi menjadi dua yaitu pipa baja las spiral dan longitudinal. Pipa baja ini diperuntukan untuk pipa minyak, pipa gas, pipa pancang, dan pipa air. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pipa baja ini adalah *hot rolling coil* (HRC). HRC adalah material dasar berbentuk pelat yang digulung sehingga membentuk *coil*. Bahan baku ini didatangkan langsung dari PT.SK yang membuat *hot strip mill* (HSM), kemudian menjadi *hot rolling coil* (HRC).

Dalam proses pembuatan pipa las longitudinal, PT.XYZ menggunakan mesin ERW (*Electric Resistance Welding*), sedangkan dalam proses pembuatan pipa las spiral menggunakan mesin SPM (*Spiral Pipe Machine*).

Tipe aliran pada proses pembuatan pipa las longitudinal adalah *flow shop* dengan satu *stage*. Jenis mesin yang digunakan pada proses ini yaitu ERW (*Electric Resistance Welding*). Mesin ERW ini berfungsi untuk membentuk bahan baku HRC (*Hot Rolling Coil*) menjadi pipa longitudinal.

PT.XYZ memiliki tipe produksi *make to order* dimana pembuatan produk didasarkan atas permintaan konsumen. Dengan tipe produksi seperti ini membuat PT.XYZ perlu membuat jadwal produksi yang optimal

agar permintaan konsumen tidak melebihi batas waktu yang ditentukan atau mungkin terlalu cepat selesai diproduksi yang mana dapat mengakibatkan penumpukan produk jadi digudang dengan *lead time* yang lama, sehingga kepuasan konsumen dan kepercayaan konsumen tetap terjaga dan perusahaan dapat bersaing dengan perusahaan lain yang bergerak dalam bidang yang sama. Di PT.XYZ kasus yang terjadi yaitu banyaknya *job* yang dikerjakan melebihi dari batas waktu yang ditentukan sehingga banyak *job* yang terlambat (*lateness*) dari *duedatannya* dibandingkan dengan pengerjaan *job* yang selesai lebih awal (*earliness*) dari *duedatannya*.

Perawatan (*maintenance*) yang tidak dilakukan secara teratur pada akhirnya akan dapat membawa dampak yang tidak baik kepada mesin atau peralatan pabrik dan apabila mesin tersebut rusak maka kegiatan produksi akan berhenti, sehingga akan mengakibatkan tidak terpenuhinya permintaan konsumen pada waktu yang telah ditentukan. Dengan menjadwalkan perawatan dengan baik, maka dapat dipastikan bahwa selama proses produksi berlangsung, mesin dan peralatan produksi dapat berjalan dalam kondisi optimal dan sesuai dengan harapan sehingga dapat memenuhi permintaan konsumen tepat waktu sesuai dengan yang diharapkan.

Saat ini PT.XYZ menggunakan metode konvensional dalam penjadwalan produksinya yaitu berdasarkan *deliver time* dimana *job* dengan waktu pengiriman paling dekat (*earliest delivery date*) akan diproses terlebih dahulu.

Salah satu metode yang digunakan untuk meminimasi keterlambatan atau *weighted tardiness* adalah dengan metode lelang. Penjadwalan sistem lelang (*auction based*) adalah metode penjadwalan yang berdasarkan mekanisme lelang dimana dalam penjadwalan ini terdapat mesin yang akan berperan sebagai juru lelang (*auctioneer*), *job* yang akan berperan sebagai peserta lelang (*bidder*), sementara slot waktu sebagai barang yang dilelang. Peserta lelang (*bidder*) ini akan melakukan penawaran slot waktu yang dimiliki juru lelang. Jika yang menginginkan slot waktu tersebut lebih dari satu peserta lelang maka proses pelelangan akan terjadi. Dalam proses pelelangan ini *job* akan berusaha menawar slot waktu yang menguntungkan *job* tersebut dan juru lelang akan menaikkan harga slot waktu untuk mengurangi persaingan dan harga masing-masing slot akan berbeda tergantung banyaknya *job* yang memperebutkannya. Mekanisme ini akan berlangsung sampai ada *job* yang mengalah untuk menawar slot waktu yang lain. Penjadwalan ini termasuk penjadwalan terdistribusi aktif, yang artinya mekanisme *job* dan mesin-lah yang menentukan penjadwalannya sendiri.

Metode lelang yang dilakukan pada penelitian Ilhami (2010) digunakan untuk meminimasi keterlambatan atau *weighted tardiness*. Penelitian Julaha (2011) menguraikan tentang penggunaan penjadwalan metode lelang dalam penjadwalan mesin paralel. Penelitian Wibisono (2012) menguraikan tentang penggunaan penjadwalan metode lelang dalam penjadwalan dengan pola aliran *flexibel flowshop*. Pada penelitian tersebut penjadwalan tidak mempertimbangkan waktu *maintenance* dan *set-up*. Berdasarkan uraian di atas maka model penjadwalan metode lelang dalam pola aliran *flow shop* dengan *single machine* dengan mempertimbangkan waktu *maintenance* dan waktu *set-up*

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 waktu proses, data bobot keterlambatan, dan ata waktu *maintenance* dan *set up*.

Dari data yang diperoleh dilakukan pengolahan data dimana pengolahan data yang dilakukan adalah pertama pengembangan algoritma penjadwalan sistem lelang pada pola aliran *flow shop*, kedua perhitungan penjadwalan dengan metode sistem lelang dan ketiga perhitungan penjadwalan dengan metode *earliest due date* (EDD). Adapun pengembangan algoritma sistem lelang tersebut yaitu aturan sistem lelang untuk pola aliran *flow shop single machine* 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 memberi saran kepada perusahaan yang diteliti dan penelitian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Perusahaan ini memproduksi pipa baja spiral dan *longitudinal*, dalam penelitian ini ,mengkerucut kepada pipa baja *longitudinal* dimana diproses dengan 1 –stage di mesin ERW.

Tabel 1. Data Job ERW pada bulan April 2011

Job	Spesifikasi			Jumlah (unit)	Due date (t-ke)	Bobot	
	D(mm)	T(mm)	P(m)			Earliness	Lateness
1	323,85	9,52	12,19	82	1	4	16
2	323,85	9,52	12	54	2	3	12
3	323,85	6,35	12,2	293	30	1	4
4	323,85	6	6	574	30	1	4
5	323,85	6,35	6	325	30	1	4
6	114,3	6,02	12	49	30	1	4
7	114,3	6,02	12	456	27	2	8
8	114,3	6,02	12	685	30	1	4
9	114,3	6,02	12	609	30	1	4

Tabel 2. Penjadwalan Existing

Job	D(mm)	T(mm)	mesin	Jumlah (unit)	Mesin SPM	
					Start time (t-ke)	Finish time (t-ke)
1	323,85	9,52	ERW	82	1	1
2	323,85	9,52	ERW	54	2	2
3	323,85	6,35	ERW	293	30	1
4	323,85	6	ERW	574	30	1
5	323,85	6,35	ERW	325	11	15
6	114,3	6,02	ERW	49	30	16
7	114,3	6,02	ERW	456	17	19
8	114,3	6,02	ERW	685	23	24
9	114,3	6,02	ERW	609	26	27

Data maintenance dan set up yaitu:

1. Waktu maintenance dilakukan pada slot waktu ke - 7 sampai dengan slot waktu ke-9
2. Waktu set up dilakukan setelah pergantian diameter produksi selama 3 slot waktu

Pengolahan Data

Dalam melakukan penjadwalan dengan menggunakan sistem lelang dilakukan dengan mekanisme lelang sebagai berikut,

- Langkah 1 Mesin menginisiasi parameter
- Langkah 2 Job membuat bids (penawaran)
- Langkah 3 Mesin mengumpulkan seluruh bid dan membentuk jadwal inisial
- Langkah 4 Membuat jadwal *feasible* dan menghitung harga lambda baru
- Langkah 5 Mesin memeriksa *stopping criteria*

Modifikasi *List Scheduling* pada penelitian ini yaitu :

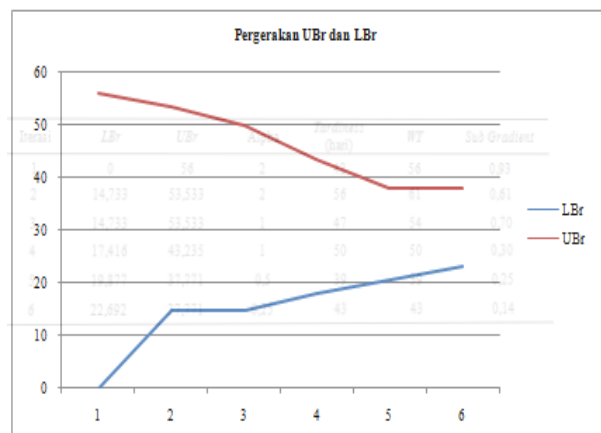
1. Mengelompokan *job* dengan diameter yang sama.
2. Mengurutkan *job* dari *start time* yang terkecil sampai terbesar untuk masing-masing kelompok *job* dengan diameter yang sama dari alternatif *bids*.
3. Pemilihan kelompok *job* yang akan dijadwalkan terlebih dahulu :
 - a) Kelompok *job* dengan *start time* terkecil yang terbanyak dari kelompok yang ada dipilih pertama menjadi kelompok *job* yang dijadwalkan terlebih dahulu
 - b) Jika *start time* sama pada setiap kelompok *job* maka pilih *due date* tercepat dari urutan *job* yang sudah terurut
 - c) Jika *start time* dan *due date* sama maka pilih *processing time* yang paling cepat dari masing-masing kelompok.
4. Pemilihan *job* yang akan dijadwalkan menjadi *job* pertama dari kelompok *job*:
 - a) *Job* yang akan dijadwalkan terlebih dahulu adalah *job* yang mempunyai *start time* terkecil.
 - b) Jika terjadi konflik dimana terdapat lebih dari satu *job* yang mempunyai *start time* yang sama, maka pilih *job* yang mempunyai *due date* terkecil digeser ke kiri 1 slot demi slot sampai slot pertama terisi dan tidak terjadi konflik.
 - c) Jika masih terjadi konflik dimana terdapat *start time* dan *due date* yang sama, maka pilih *job* yang mempunyai *processing time* terkecil digeser ke kiri 1 slot demi slot sampai slot pertama terisi dan tidak terjadi konflik.
 - d) Jika setelah slot pertama terisi dan masih terjadi konflik maka geser *job* yang satunya ke kanan slot demi slot sampai tidak terjadi konflik.
5. Pemilihan *job* yang akan dijadwalkan menjadi *job* kedua dan *job* berikutnya:
 - a) *Job* yang akan dijadwalkan menjadi *job* kedua dan *job* selanjutnya adalah *job* yang mempunyai *start time* terkecil dari

semua *job* yang ada dalam kelompok kecuali *job* yang telah terpilih.

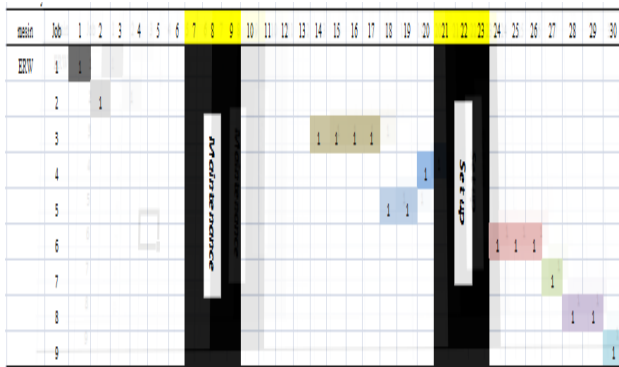
- b) Jika terjadi konflik dimana terdapat lebih dari satu *job* yang mempunyai *start time* yang sama, maka pilih *job* yang mempunyai *due date* terkecil digeser ke kiri 1 slot demi slot sampai slot pertama terisi dan tidak terjadi konflik.
 - c) Jika masih terjadi konflik dimana terdapat *start time* dan *due date* yang sama, maka pilih *job* yang mempunyai *processing time* terkecil digeser ke kiri 1 slot demi slot sampai slot pertama terisi dan tidak terjadi konflik.
 - d) Jika setelah slot pertama terisi dan masih terjadi konflik maka geser *job* yang satunya ke kanan slot demi slot sampai tidak terjadi konflik.
6. Jika sudah tidak terjadi konflik antar *jobs* dalam kelompok, kelompok yang dipilih menjadi kelompok yang tidak dijadwalkan terlebih dahulu dimana *jobs* yang berdekatan dengan *jobs* dikelompok pertama bergeser kekanan 1 slot demi slot sampai slot waktu untuk *set up* dan *maintenance* pergantian diameter terpenuhi (3 slot waktu) , bila tidak tersedia slot maka kelompok yang dijadwalkan terlebih dahulu bergeser ke kiri 1 slot demi slot sampai waktu untuk *set up* dan *maintenance* pergantian diameter terpenuhi (3 slot waktu) Jika terdapat slot waktu *maintenance* dan *set up*, *job* tidak dapat menggunakan slot waktu tersebut

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Iterasi Metode Lelang

Iterasi	LBr	Ubr	Alpha	Tardiness (hari)	WT	Sub Gradient
1	0	56	2	42	56	0,93
2	14,733	53,533	2	56	61	0,61
3	14,733	53,533	1	47	54	0,70
4	17,416	43,235	1	50	50	0,30
5	19,877	37,771	0,5	39	39	0,25
6	22,692	37,771	0,25	43	43	0,14



Gambar 1. Grafik Pergerakan Nilai Ubr dan LBr



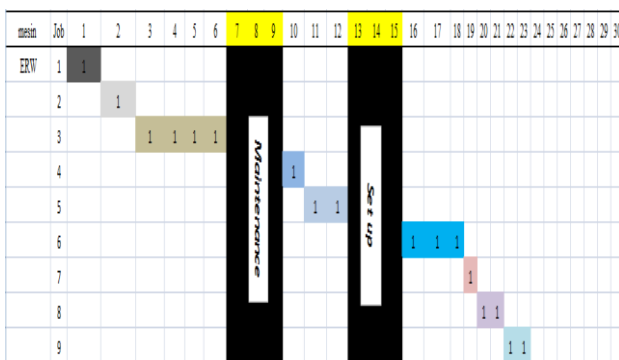
Gambar 2. Urutan penjadwalan job dengan sistem lelang

Gambar 2 menunjukkan urutan penjadwalan yang dilakukan dengan menggunakan sistem lelang dimana urutan job dari hasil sistem lelang yaitu job 1 – job 2 – job 3 – job 5 – job 4 – job 6 – job 7 – job 8 – job 9.

Tabel 4. Perhitungan *weighted Tardiness* sistem lelang

Job	Bids	E	L	WE	WL	Bids + WT
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	13	0	13	0	13
4	0	10	0	10	0	10
5	0	11	0	11	0	11
6	5,94	4	0	4	0	9,94
7	2,65	0	0	0	0	2,65
8	6,16	1	0	1	0	7,16
9	3,66	0	0	0	0	3,66
Total						57,41
T Lamda						19,62
Selisih						37,79

Dari perhitungan *weighted tardiness* dengan sistem lelang diperoleh nilai *weighted tardiness* sebesar 39 yang diperoleh dari total *weighted earliness* ditambahkan dengan total *weighted lateness*.



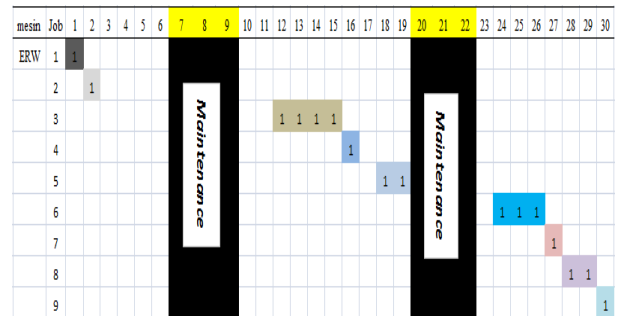
Gambar 3. Urutan penjadwalan job dengan menggunakan EDD

Gambar 3 menunjukkan urutan penjadwalan yang dilakukan dengan menggunakan EDD dimana urutan job dari hasil sistem lelang yaitu job 1 – job 2 – job 3 – job 4 – job 5 – job 6 – job 7 – job 8 – job 9.

Dari perhitungan *weighted tardiness* dengan sistem lelang diperoleh nilai *weighted tardiness* sebesar 106 yang diperoleh dari total *weighted earliness* ditambahkan dengan dengan total *weighted lateness*.

Tabel 5. Perhitungan *weighted Tardiness* menggunakan EDD

Job	waktu selesai (t-ke)	Due date (r-ke)	earliness	lateness	WE	WL	WT
1	1	1	0	0	0	0	
2	2	2	0	0	0	0	
3	6	30	24	0	24	0	
4	10	30	20	0	20	0	
5	12	30	18	0	18	0	106
6	18	30	12	0	12	0	
7	19	27	8	0	8	0	
8	21	30	9	0	9	0	
9	23	30	7	0	7	0	



Gambar 4. Urutan penjadwalan job kondisi existing

Gambar 4 menunjukkan urutan penjadwalan yang dilakukan dengan menggunakan sistem lelang dimana urutan job dari hasil sistem lelang yaitu job 1 – job 2 – job 3 – job 4 – job 5 – job 6 – job 7 – job 8 – job 9.

Tabel 6. Perhitungan *weighted tardiness* kondisi existing

Job	waktu selesai (r-ke)	Due date	earliness	lateness	WE	WL	WT
1	1	1	0	0	0	0	
2	2	2	0	0	0	0	
3	15	30	15	0	15	0	
4	16	30	14	0	14	0	
5	19	30	11	0	11	0	45
6	26	30	4	0	4	0	
7	27	27	0	0	0	0	
8	29	30	1	0	1	0	
9	30	30	0	0	0	0	

Dari perhitungan *weighted tardiness* kondisi existing diperoleh nilai *weighted tardiness* sebesar 45 yang diperoleh dari total *weighted earliness* ditambahkan dengan total *weighted lateness*.

Tabel 6. Perbandingan *weighted tardiness* metode lelang dengan metode EDD an kondisi existing

Metode	Weighted Tardiness
Lelang	39
Earliest due date (EDD)	106
Kondisi existing	45

Dari hasil perbandingan ketiga metode yaitu metode lelang, EDD, dan kondisi existing diperoleh metode yang paling optimal adalah metode lelang dimana nilai *weighted tardiness* yang paling minimum dibanding dengan metode EDD dan kondisi existing.

Analisa

Ubr dalam sistem lelang diartikan sebagai pendapatan maksimum yang akan didapat oleh juru lelang (mesin) dan *LBr* diartikan sebagai pendapatan minimum yang akan diperoleh juru lelang (mesin). Juru lelang (mesin) memiliki fungsi *local objective*-nya (*LD*) yaitu maksimasi pendapatan dari slot waktu yang dilelang sedangkan peserta lelang (*job*) memiliki fungsi *local objective*-nya (*LR*) yaitu minimasi harga *bids*. Dari kepentingan juru lelang (mesin) dan peserta lelang (*job*) tersebut akan mempengaruhi harga λ_{mt} sehingga harga λ_{mt} inilah yang akan menjadi parameter untuk menentukan mekanisme lelang selanjutnya sehingga diperoleh variabel keputusan yang tidak hanya mengoptimalkan *local objective* mesin dan *job* namun juga akan mengoptimalkan fungsi tujuan sistem yaitu minimasi *weighted tardiness* (*weighted earliness* dan *weighted lateness*). Jadwal *existing* memiliki nilai *weighted tardiness* sebesar 45. Untuk urutan penjadwalan sistem lelang dengan *existing* berbeda dimana letak perbedaannya itu pada urutan pengerjaan *job* dan waktu kapan *job* itu dimulai hingga *job* itu selesai dikerjakan. Pada penjadwalan *earliest due date* (EDD) memiliki nilai *weighted tardiness* sebesar 106 . Untuk urutan penjadwalan EDD dengan sistem lelang berbeda, dimana letak perbedaannya itu pada urutan pengerjaan *job* dan waktu kapan *job* itu dimulai hingga *job* itu selesai dikerjakan. Untuk penjadwalan EDD dengan *existing* memiliki urutan penjadwalan yang sama namun berbeda pada mulai dan selesainya *job* dikerjakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian untuk meminimasi *weighted tardiness* maka kesimpulan didapat adalah Melakukan penjadwalan dengan sistem lelang untuk meminimasi *weighted tardiness* dilakukan dengan 5 langkah mekanisme lelang yaitu : Langkah 1: Mesin sebagai juru lelang dan mengumumkan lelang (mesin menginisiasi parameter), Langkah 2: Membuat *bid* (penawaran). Langkah 3: Juru lelang menerima *bids* dan membuat jadwal inisial, Langkah 4: Mesin memodifikasi jadwal infeasible ke jadwal feasible dan penyesuaian harga (λ_{mi}) untuk ronde berikutnya Langkah 5 : Mesin memeriksa *stopping criteria*. Dari hasil penjadwalan dengan sistem lelang diperoleh jadwal sebagai berikut : Job 1 dikerjakan pada hari/ slot ke 1, Job 2 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 2, Job 3 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 14 sampai 17, Job 4 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 20, Job 5 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 18 sampai 19, Job 6 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 24 sampai 26, Job 7 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 27, Job 8 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 28 sampai 29, dan Job 9 dikerjakan pada hari/ slot waktu ke 30. Jadwal produksi baru dengan metode EDD dibandingkan dengan jadwal *existing* memberikan nilai *weighted tardiness* yang lebih besar, sedangkan dengan metode lelang memberikan nilai *weighted tardiness* yang lebih kecil. Jadwal produksi dengan sistem lelang memberikan nilai *weighted*

tardiness sebesar 39, sedangkan dengan metode EDD dan jadwal *existing* masing-masing memberikan nilai 106 dan 45.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K R., 1974. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Brucker, P. 2007. *Scheduling Algorithms*. Fifth Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Conway, R. W., et. al., 1967. *Theory of Scheduling*. MA: Addison-Wesley.
- Dewan, P., Joshi,S.. 2002. Auction-Based Distributed Scheduling in a Dynamic Job Shop Environment. *International Journal of Production System*. vol. 40. no.5.pp. 1173-1191.
- Fisher, M.L. 1981. Lagrangian Relaxation Method for Solving Integer Programming Problem. *Management Science*, Vol. 27, 1 – 18.
- Hasriyono, M. 2009. Evaluasi Efektifitas Mesin Dengan Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Di PT. Hadi Baru. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Industri, FT USU. Medan.
- Ilhami, M. A., 2010. Pengembangan Model Penjadwalan Job Shop Dinamis yang Mempertimbangkan Routing Alternatif dengan Menggunakan Sistem Lelang. *Tesis*. Teknik dan Manajemen Industri. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Julaeha, E. 2011. Penjadwalan Mesin Paralel dengan Sistem Lelang untuk Meminimasi Weighted Tardiness. *Skripsi*. FT.Untirta. Cilegon.
- Wibisono, D.A. 2012. Penjadwalan Mesin Pada Pola Aliran Flexible Flowshop 2-Stage Dengan Sistem Lelang Untuk Meminimasi Wiegthed Tardiness. *Skripsi*. FT.Untirta. Cilegon.