

Model Penjadwalan *Flexible Manufacturing System* dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material

Ari Setiawan^{#1}, Teguh Ersada Natail Sitepu^{#2}, Malvin Hilmanto^{#3}

[#]Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa

Jalan Dipatiukur No. 80-84, Bandung, Indonesia 40132

¹ari_setiawan@ithb.ac.id

²teguhsitepu@gmail.com

³malvin.hilmanto@gmail.com

Abstract— *Material handling systems on FMS (Flexible Manufacturing System) plays an important role in production process, which usually consists of a transportation system or known as a stacker crane which is useful for transportation of materials and inventory systems or known as pallet stocker which is useful for storing raw material, semi-finished goods and finished goods. Material handling systems on FMS must be well managed so that production process can work well, one way to achieve that is by production scheduling. This research will develop FMS scheduling model by considering material handling systems which form of stacker crane and pallet stocker. In this study there are four pieces of CNC machines (Computer Numerical Control) that are identical and arranged in parallel. The CNC machine is used to produce fifteen jobs which has stage-1 and stage-2. The difference between stage-1 and stage-2 is the surface to be processed. This research uses two methods: SPT (Shortest Processing Time) and LPT (Longest Processing Time). Both methods will be compared to obtain the best method between them. This study has a solution that sees the makespan and stacker crane utilization. The result showed that the shortest make-span obtained was 1321,04 minute and and the biggest utility was 4,64%.*

Keywords— *flexible manufacturing system, schedulling, stacker crane, pallet stocker, shortest processing time, longest processing time, makespan.*

Abstrak— *FMS (Flexible Manufacturing System) menggunakan sistem penanganan material yang berperan penting dalam proses produksi, yang biasanya terdiri dari sistem transportasi atau dikenal dengan stacker crane yang berguna untuk transportasi material dan sistem inventori atau dikenal dengan pallet stocker yang berguna untuk menyimpan raw material, semi finished goods dan finished goods. Sistem penanganan material pada FMS harus dikelola dengan baik supaya proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Salah satu cara untuk mencapai hal tersebut adalah dengan sistem penjadwalan produksi. Oleh karena itu penelitian ini akan mengembangkan model penjadwalan FMS dengan memperhatikan sistem penanganan material berupa stacker crane dan pallet stocker. Pada penelitian ini terdapat empat buah mesin CNC (Computer Numerical Control) yang identik dan disusun secara paralel. Mesin CNC tersebut digunakan untuk memproduksi lima belas buah pekerjaan yang akan diproses dalam stage-1 dan stage-2. Perbedaan antara stage-1 dan stage-2 yaitu terletak dari permukaan yang akan diproses. Penelitian ini menggunakan dua metode yaitu SPT (Shortest Processing Time) dan LPT (Longest Processing Time). Kedua metode tersebut akan dibandingkan*

dengan melihat hasil dari masing-masing metode yang berupa makespan dan utilitas stacker crane. Dari hasil penelitian didapatkan nilai makespan terpendek yaitu 1321,04 menit dan utilitas terbesar yaitu 4,64%.

Kata Kunci— *flexible manufacturing system, penjadwalan, stacker crane, pallet stocker, shortest processing time, longest processing time, makespan.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri diawali pada tahun 1784 dengan ditemukannya mesin uap yang mendorong revolusi industri pertama atau dikenal dengan sebutan Industri 1.0. Industri 3.0 terus berkembang hingga pada tahun 2012 terjadi revolusi industri keempat atau dikenal dengan Industri 4.0. Salah satu fasilitas produksi yang mendukung Industri 4.0 adalah FMS (*Flexible Manufacturing System*). Menurut Stecke [1] FMS sendiri merupakan sistem manufaktur yang terdiri dari kumpulan mesin perkakas otomatis yang terkoneksi dengan sistem penanganan material, yang semua aktivitasnya dikendalikan dengan sistem komputer.

Dalam FMS terdapat banyak pekerjaan dan operasi yang harus diselesaikan. Masing-masing pekerjaan harus dialokasikan pada mesin atau sumber daya yang tersedia. Dalam penentuan urutan pekerjaan yang akan dialokasikan dibutuhkan suatu keputusan. Menurut Bedworth dan Bailey [2] keputusan tersebut disebut dengan penjadwalan produksi. Menurut Setiawan dkk. [3], penjadwalan produksi merupakan suatu kegiatan untuk mengalokasikan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang dimiliki oleh suatu industri.

Penelitian ini didasari oleh beberapa penelitian sebelumnya [4][5][6]. Setiawan dkk. [4] melakukan penjadwalan pada FMS dengan memperhatikan perkakas potong untuk meminimasi *makespan*. Sedangkan Pakpahan dkk. [5] melakukan penjadwalan *job shop* pada FMS menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dengan faktor umur *cutting tools*. Penelitian Pakpahan dkk. [5] kemudian dilanjutkan [6] dengan melakukan penjadwalan produksi pada FMS dengan memperhatikan *stacker crane* menggunakan pendekatan *Object-oriented Modelling* dan *Coloured Petri Nets*, dimana pada dua penelitian sebelumnya *stacker crane* belum diperhatikan. Dengan demikian penelitian ini akan melanjutkan penelitian sebelumnya [6] dengan menambahkan beberapa faktor.

Model Penjadwalan Flexible Manufacturing System dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material

Penelitian ini akan tetap memperhatikan sistem penanganan material berupa *stacker crane* sehingga didapatkan utilitas dari *stacker crane* tersebut. *Stacker crane* pada FMS diperhatikan karena merupakan alat transportasi yang bertugas mengantarkan pekerjaan. Utilitas dari *stacker crane* tersebut nanti akan digunakan untuk pengambilan keputusan selanjutnya yang berkaitan dengan *stacker crane*. Selain *stacker crane*, penelitian ini juga memperhatikan sistem penanganan material lainnya yaitu *pallet stocker* karena *pallet stocker* pada FMS merupakan tempat penyimpanan pekerjaan, dimana pada penelitian sebelumnya sudah terdapat *pallet stocker* tetapi dimensinya tidak diperhatikan serta posisi peletakan pekerjaannya juga tidak diperhatikan.

Untuk menyelesaikan penjadwalan produksi pada penelitian ini digunakan metode SPT (*Shortest Processing Time*) dan LPT (*Longest Processing Time*). Kedua metode akan dibandingkan, yang dibandingkan adalah makespan dan utilitas *stacker crane* sehingga dapat diketahui metode mana yang lebih baik digunakan dalam kasus penelitian ini.

II. METODOLOGI

Metodologi Penelitian menjelaskan mengenai tahapan-tahapan dalam penelitian. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini yaitu dimulai dari studi pendahuluan, persiapan penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, pengujian model dan analisis dan diakhiri dengan kesimpulan dan saran.

A. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan bagian awal dari penelitian. Studi pendahuluan terdiri dari beberapa tahap yaitu studi awal, tinjauan pada penelitian sebelumnya, identifikasi masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini.

B. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian dilakukan sebagai tahap untuk memperoleh informasi yang diperlukan sebagai kerangka berpikir. Persiapan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu mempelajari cara kerja FMS, mempelajari penjadwalan produksi, dan mempelajari cara kerja *software*. Teori, metode dan *software* harus dipelajari dengan seksama sehingga dapat mendukung penelitian ini.

C. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan dan pengolahan data, pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data - data ini berupa data dimensi komponen FMS, data jarak antar komponen FMS, data material, data sistem penanganan material dan data waktu FMS.

D. Pengujian Model dan Analisis

Tahap ini merupakan pengujian model yang telah dikembangkan dengan cara menjalankan model beberapa kali dan dilakukan verifikasi. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat hasil terbaik dari semua pengujian dan mengetahui perbedaan yang dihasilkan. Sedangkan verifikasi dilakukan dengan mencocokkan hasil yang didapatkan

menggunakan *software* dengan hasil yang dihitung secara manual menggunakan *microsoft excel*.

Tahap analisis dilakukan setelah pengujian model selesai dilakukan. Analisis dilakukan terhadap hasil yang didapat, hasil penjadwalan produksi yang baik pada FMS adalah penjadwalan yang menghasilkan waktu proses paling optimal dan juga utilisasi setiap komponen FMS optimal.

E. Kesimpulan dan Saran

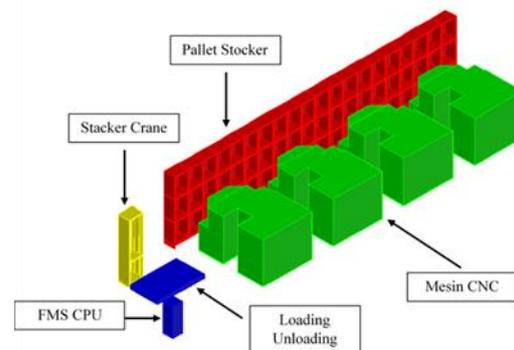
Kesimpulan dan saran merupakan tahapan terakhir dalam penelitian ini. Kesimpulan yang ditarik berdasarkan hasil analisis yang berkaitan dengan penjadwalan produksi pada FMS. Tahap ini juga memberikan saran bagi peneliti yang akan meneruskan penelitian ini atau membuat penelitian yang serupa

III. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

A. Data Konstruksi FMS

Pada penelitian ini kasus yang diamati yaitu FMS yang terdiri dari empat buah mesin CNC identik. Setiap mesin CNC dilengkapi dengan APC (*Automatic Pallet Changer*) dan *pallet buffer*, mesin CNC yang ada disusun secara paralel dan dapat mengerjakan berbagai jenis pekerjaan. Pada FMS yang diamati juga terdapat sistem penanganan material berupa *pallet stocker* yang digunakan untuk menyimpan pekerjaan dengan kapasitas enam puluh buah *pallet*. Selain *pallet stocker* juga terdapat sistem penanganan material lainnya yaitu *stacker crane* yang berjalan lurus diantara mesin CNC dan *pallet stocker* yang berguna sebagai alat transportasi pekerjaan. Dalam kondisi yang diteliti terdapat lima belas buah pekerjaan yang terdiri dari *stage-1* dan *stage-2*. Lima belas pekerjaan merupakan data yang berasal dari penelitian sebelumnya [3].

Pada FMS juga terdapat *loading unloading station* yang digunakan sebagai tempat menaruh pekerjaan sebelum dikerjakan, selain itu juga berfungsi sebagai tempat *setup* untuk pekerjaan yang memiliki *stage-2*. Pekerjaan yang sudah selesai dikerjakan di mesin CNC diprioritaskan untuk diambil terlebih dahulu oleh *stacker crane*. Semua tahapan kerja FMS diatur oleh FMS CPU. Konstruksi FMS dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Konstruksi FMS

B. Data Operasi

Data operasi tersebut adalah data pekerjaan dengan waktu pengerjaan untuk setiap stage. Data pekerjaan tersebut merupakan komponen yang akan diproses pada work center. Data operasi dapat dilihat pada tabel I.

C. Flowchart

Flowchart penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu bagian transportasi pekerjaan stage-2 yang sudah selesai dikerjakan di mesin, transportasi pekerjaan stage-1 yang sudah selesai dikerjakan di mesin, transportasi pekerjaan stage-1 yang berada di loading unloading station, transportasi pekerjaan stage-1 yang berada di pallet stocker dan, transportasi pekerjaan stage-2 yang berada di pallet stocker. Flowchart dapat dilihat pada gambar 16. Pada flowchart terdapat dua jenis warna yaitu hijau dan merah. Merah berarti perhitungan dilakukan secara manual pada microsoft excel sedangkan hijau berarti perhitungan dilakukan secara otomatis pada software MATLAB R15a.

D. Penjadwalan Produksi LPT

Proses penjadwalan produksi menggunakan metode LPT dimulai dari mengurutkan pekerjaan berdasarkan waktu operasi paling panjang. Proses pengurutan dibagi menjadi dua tahap yaitu pengurutan stage-1 dan pengurutan stage-2, Pengurutan dilakukan secara manual menggunakan bantuan microsoft excel. Setelah semua pekerjaan selesai diurutkan berdasarkan waktu operasi paling panjang maka selanjutnya dilakukan pengalokasian pekerjaan ke setiap mesin yang tersedia. Gantt Chart alokasi pekerjaan pada setiap mesin dapat dilihat pada gambar 2. Sedangkan urutan pekerjaan LPT dapat dilihat pada tabel II.

Setelah diketahui urutan dan alokasi pekerjaan pada masing-masing mesin maka selanjutnya menentukan tahapan kerja dari sistem penanganan material yaitu stacker crane. Dengan diketahui tahapan kerjanya maka dapat dilakukan perhitungan waktu operasi stacker crane untuk transportasi pekerjaan. Gantt chart waktu operasi stacker crane sesuai metode LPT dapat dilihat pada gambar 3.

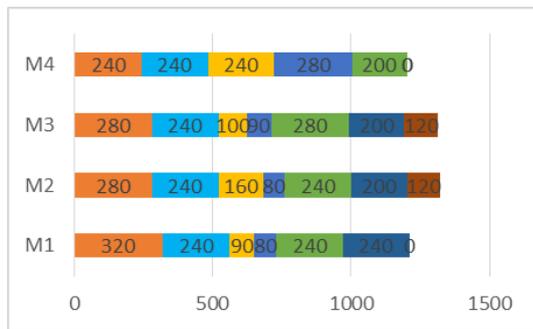
E. Penjadwalan Produksi SPT

Proses penjadwalan produksi menggunakan metode SPT hampir sama dengan penjadwalan produksi menggunakan metode LPT hanya saja pekerjaan diurutkan berdasarkan waktu operasi paling pendek. Proses pengurutan juga dibagi dua tahap seperti metode LPT yaitu pengurutan stage-1 dan pengurutan stage-2, Setelah pekerjaan selesai diurutkan berdasarkan waktu operasi paling pendek maka selanjutnya dilakukan pengalokasian pekerjaan ke dalam mesin. Gantt Chart alokasi pekerjaan pada setiap mesin dapat dilihat pada gambar 4. Sedangkan urutan pekerjaan SPT dapat dilihat pada tabel III.

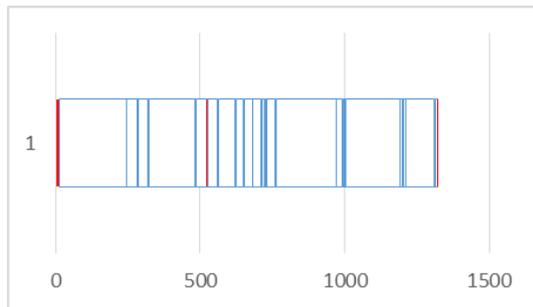
Tahapan selanjutnya sama seperti metode LPT yaitu setelah diketahui urutan dan alokasi pekerjaan pada masing-masing mesin maka menentukan tahapan operasi dari stacker crane. Setelah tahapan operasinya diketahui maka dilakukan perhitungan waktu operasi stacker crane untuk transportasi pekerjaan. Gantt chart waktu operasi stacker crane sesuai metode LPT dapat dilihat pada gambar 5.

TABEL I
DATA OPERASI FMS

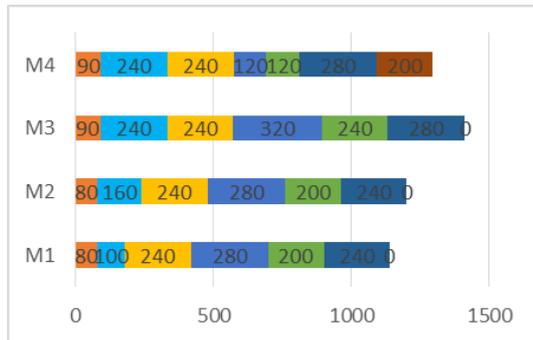
Job	Stage	Urutan Operasi dan Waktu Operasi (Menit)												T.Waktu (Menit)
		End Mill φ14 K = 1	End Mill φ12 K = 2	End Mill φ80 K = 3	End Mill φ16 R2 K = 4	End Mill φ14 R2 K = 5	End Mill φ12 R2 K = 6	End Mill φ10 R2 K = 7	End Mill φ8 R2 K = 8	Ball Nose φ16 K = 9	Ball Nose φ12 K = 10	Ball Nose φ10 K = 11	Ball Nose φ8 K = 12	
1	1	10 (1)	10 (2)				15 (3)	10 (4)	10 (5)	25 (6)				80
2	1	35 (2)	40 (1)	45 (3)	30 (5)	25 (4)	30 (6)	35 (7)						240
	2	45 (1)	30 (2)						35 (6)	40 (3)	50 (5)	20 (4)	20 (7)	240
3	1	50 (1)	50 (2)	60 (3)		35 (5)	35 (6)			50 (7)				280
	2	30 (1)	55 (2)					25 (3)	40 (5)	50 (4)	30 (6)		50 (7)	280
4	1	35 (1)	20 (2)		50 (3)	40 (4)	50 (5)			35 (7)	10 (6)			240
	2		20 (1)						15 (2)	20 (3)	30 (4)	15 (5)	20 (6)	120
5	1	10 (2)	15 (1)		20 (3)	10 (4)					20 (6)		15 (5)	90
6	1	20 (1)	15 (2)							15 (4)	20 (5)	30 (3)		100
7	1	45 (1)	30 (2)	25 (5)	30 (3)	25 (4)	35 (6)				50 (7)			240
	2	35 (1)	50 (2)					35 (4)	30 (3)	20 (5)	30 (6)			200
8	1	40 (1)	20 (2)	50 (3)	40 (4)	40 (5)				50 (6)				240
	2		30 (1)				20 (2)		15 (3)	25 (4)		25 (5)	5 (6)	120
9	1			30 (1)	40 (2)	40 (4)	30 (3)	50 (5)		50 (7)	40 (6)			280
	2	60 (1)	50 (2)						40 (3)	45 (4)	40 (5)		45 (6)	280
10	1	40 (1)	50 (2)	60 (3)			40 (5)	50 (6)						240
	2	50 (1)	60 (2)						45 (3)	45 (4)		40 (5)		240
11	1	40 (1)	50 (2)		30 (4)	20 (3)					20 (5)			160
	2	40 (1)						50 (3)	60 (4)	40 (2)		20 (5)	30 (6)	240
12	1	50 (1)	40 (2)			60 (3)		60 (4)	50 (5)			60 (6)		320
	2	45 (1)					45 (2)		30 (3)		30 (4)	50 (5)		200
13	1	30 (1)	40 (2)	30 (3)	40 (5)	25 (4)		25 (6)			50 (7)			240
	2	45 (1)							45 (2)	30 (3)		40 (4)	40 (5)	200
14	1		10 (1)		25 (2)		20 (3)	15 (4)			20 (5)			90
15	1		15 (1)					15 (4)	10 (3)	20 (2)	20 (5)			80



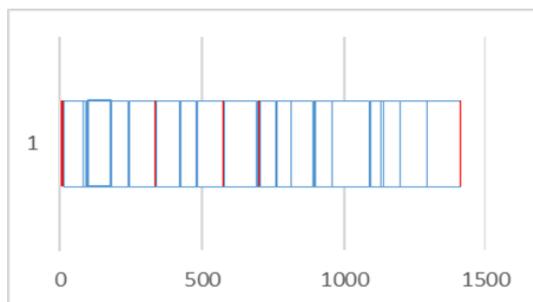
Gambar 2 Gantt chart Waktu Operasi Pekerjaan LPT



Gambar 3 Gantt Chart Waktu Operasi Stacker Crane LPT



Gambar 4 Gantt chart Waktu Operasi Pekerjaan SPT



Gambar 5 Gantt Chart Waktu Operasi Stacker Crane SPT

TABEL III
URUTAN PEKERJAAN LPT

Pekerjaan-1	Pekerjaan-2	Pekerjaan-3	Pekerjaan-4	Pekerjaan-5	Pekerjaan-6	Pekerjaan-7
12,1	10,1	5,1	1,1	2,2	11,2	
3,1	7,1	11,1	15,1	10,2	13,2	8,2
9,1	8,1	6,1	14,1	3,2	12,2	4,2
2,1	4,1	13,1	9,2	7,2		

TABEL IIIII
URUTAN PEKERJAAN STP

Pekerjaan-1	Pekerjaan-2	Pekerjaan-3	Pekerjaan-4	Pekerjaan-5	Pekerjaan-6	Pekerjaan-7
1,1	6,1	7,1	3,1	7,2	2,2	
15,1	11,1	8,1	9,1	13,2	10,2	
5,1	2,1	10,1	12,1	11,2	9,2	
14,1	4,1	13,1	4,2	8,2	3,2	12,2

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Penjadwalan Produksi LPT

Hasil penjadwalan produksi menggunakan metode LPT menghasilkan waktu operasi untuk masing-masing mesin sebesar 1210,35 menit untuk mesin 1, 1321,02 menit untuk mesin 2, 1311,94 menit untuk mesin 3 dan 1203,11 menit untuk mesin 4. Dari 15 buah pekerjaan yang dikerjakan semuanya selesai dan menghasilkan *makespan* sebesar 1321,02 menit. Perbandingan waktu operasi masing-masing mesin ditunjukkan dalam bentuk *gant chart* pada gambar 6.

B. Analisis Penjadwalan Produksi LPT

Hasil penjadwalan produksi yang menggunakan metode SPT menghasilkan waktu operasi untuk masing-masing mesin sebesar 1140,35 menit untuk mesin 1, 1201,02 menit untuk mesin 2, 1411,94 menit untuk mesin 3 dan 1293,11 menit untuk mesin 4. Dari 15 buah pekerjaan yang dikerjakan semuanya selesai dan menghasilkan *makespan* sebesar 1411,94 menit. Perbandingan waktu operasi masing-masing mesin ditunjukkan dalam bentuk *gant chart* pada gambar 7.

Sedangkan berdasarkan *gant chart* waktu operasi *stacker crane* dapat diketahui waktu total operasi *stacker crane* sebesar 1321,94 menit. Waktu aktif *stacker crane* sebesar 61,40 menit dan waktu *idle stacker crane* sebesar 1260,54. Perbandingan waktu aktif dan waktu *idle stacker crane* ditunjukkan dalam bentuk *pie chart* pada gambar 8.

Sedangkan berdasarkan *gant chart* waktu operasi *stacker crane* dapat diketahui waktu total operasi *stacker crane* sebesar 1413,05 menit. Waktu aktif *stacker crane* sebesar 63,61 menit dan waktu *idle stacker crane* sebesar 1349,44. Perbandingan waktu aktif dan waktu *idle stacker crane* ditunjukkan dalam bentuk *pie chart* pada gambar 9.

C. Analisis Penjadwalan Produksi Dengan Metode LPT dan Model SPT

Kedua model penjadwalan produksi yang sudah diuji masing - masing dengan metode SPT dan metode LPT kemudian dibandingkan dan dianalisis sehingga diketahui model yang paling baik dalam kasus penelitian ini. *Makespan* yang dihasilkan metode SPT sebesar 1411,94 menit dan *makespan* yang dihasilkan metode LPT sebesar 1321,02 menit. Jika dilihat dari waktu operasi *stacker crane*, metode SPT menghasilkan waktu total operasi sebesar 1413,05 menit dan waktu aktif 63,61 menit sehingga utilitas dari *stacker crane* sebesar 4.50%. Sedangkan metode LPT menghasilkan waktu total kerja sebesar 1321,94 menit dan waktu aktif 61,40 menit sehingga utilitas dari *stacker crane* sebesar 4.64%. Berdasarkan analisis perbandingan model menggunakan

Model Penjadwalan Flexible Manufacturing System dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material

metode SPT dan metode LPT maka didapatkan bahwa metode LPT lebih baik dibandingkan metode SPT.

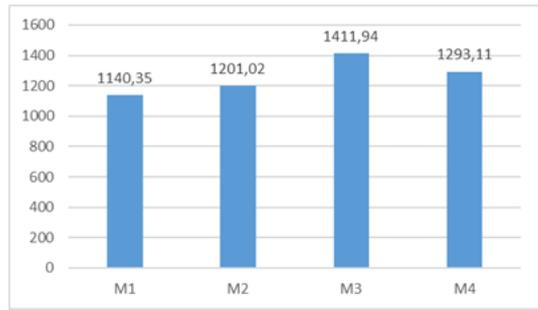
D. Analisis Penjadwalan Produksi LPT Dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material

Hasil penjadwalan produksi yang menggunakan metode LPT tanpa memperhatikan sistem penanganan material menghasilkan waktu operasi untuk masing-masing mesin sebesar 1210 menit untuk mesin 1, 1320 menit untuk mesin 2, 1310 menit untuk mesin 3 dan 1200 menit untuk mesin 4. Sedangkan hasil penjadwalan produksi yang menggunakan metode LPT dengan memperhatikan sistem penanganan material menghasilkan waktu operasi untuk masing-masing mesin sebesar 1210,35 menit untuk mesin 1, 1321,02 menit untuk mesin 2, 1311,94 menit untuk mesin 3 dan 1203,11 menit untuk mesin 4.

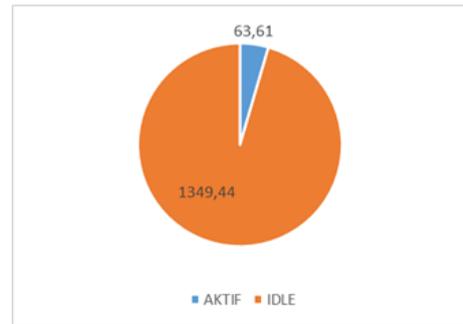
Makespan LPT tanpa memperhatikan sistem penanganan material sebesar 1320 menit sedangkan makespan LPT yang memperhatikan sistem penanganan material sebesar 1321,02 menit. Oleh karena itu penjadwalan produksi menggunakan metode LPT dengan memperhatikan sistem penanganan material memiliki kenaikan makespan sebesar 0,07% dari makespan penjadwalan produksi menggunakan metode LPT tanpa memperhatikan sistem penanganan material. Dengan melihat kenaikan tersebut maka sistem penanganan material berpengaruh dalam penjadwalan produksi.

E. Pengembangan Software Penelitian

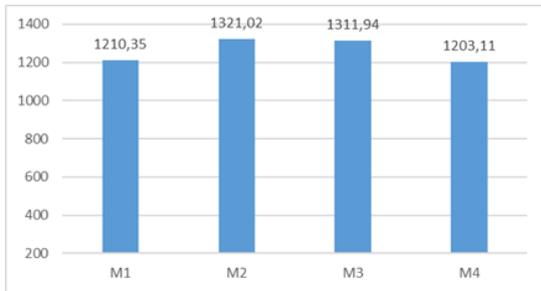
Suatu software dibutuhkan dalam penelitian ini untuk mengolah data, software yang digunakan adalah MATLAB R15a. Penjadwalan yang menggunakan bantuan MATLAB R15a hanya untuk model LPT karena LPT lebih baik dibandingkan dengan SPT dalam kasus penelitian ini. Hasil penjadwalan produksi LPT dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



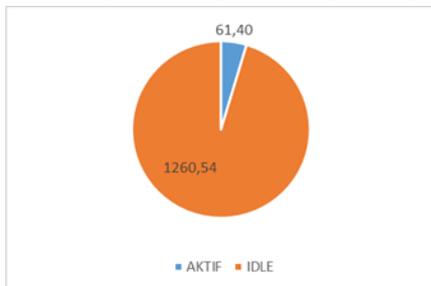
Gambar 8 Perbandingan Waktu Operasi Masing - Masing Mesin SPT



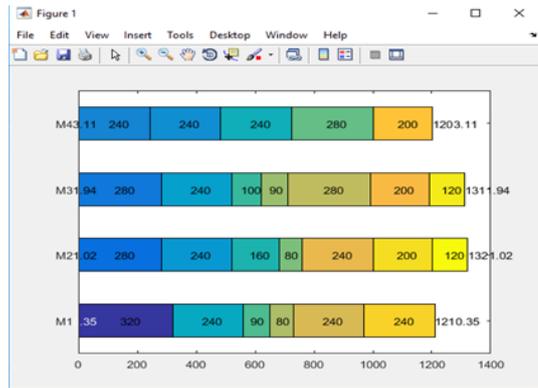
Gambar 9 Perbandingan Waktu Aktif dan Waktu Idle Stacker Crane SPT



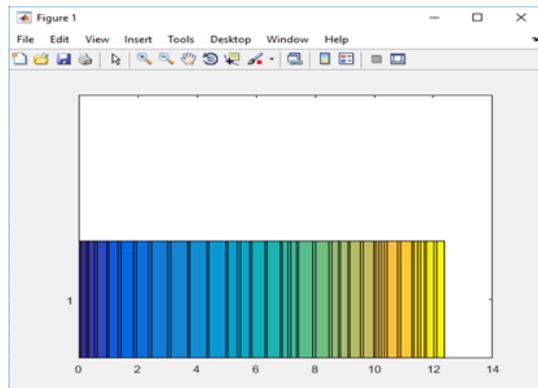
Gambar 6 Perbandingan Waktu Operasi Masing - Masing Mesin LPT



Gambar 7 Perbandingan Waktu Aktif dan Waktu Idle Stacker Crane LPT



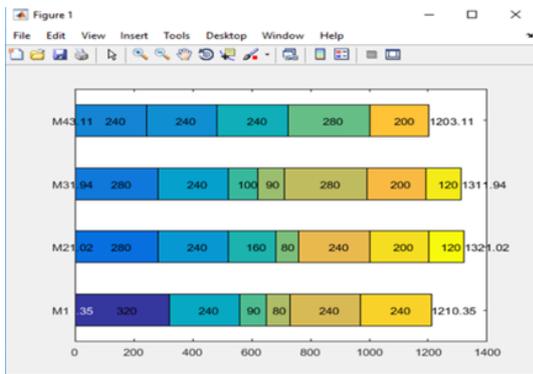
Gambar 10 Gantt Chart Waktu Operasi Pekerja LPT



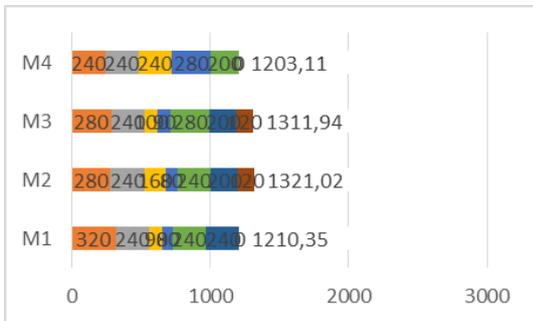
Gambar 11 Gantt Chart Waktu Operasi Stacker Crane LPT

F. Verifikasi

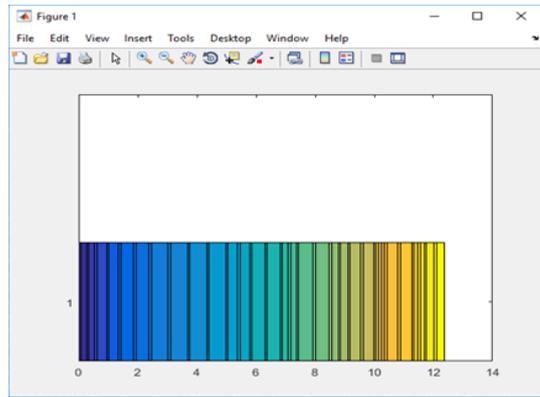
Tahap verifikasi bertujuan untuk memastikan kebenaran dari hasil penjadwalan pekerjaan pada mesin dan penjadwalan sistem penanganan material. Tahap ini dilakukan dengan bantuan *microsoft excel*. Gambar 12 menunjukkan *gant chart* waktu operasi setiap pekerjaan pada mesin yang dikerjakan menggunakan bantuan *software* sedangkan gambar 13 menunjukkan *gant chart* waktu operasi setiap pekerjaan pada mesin yang dikerjakan menggunakan *microsoft excel*. Gambar 14 menunjukkan *gant chart* waktu awal operasi *stacker crane* ketika mengantarkan pekerjaan dari *loading unloading* menuju mesin atau *pallet stocker* yang dikerjakan menggunakan bantuan *software*. Sedangkan gambar 15 menunjukkan *gant chart* waktu awal operasi *stacker crane* ketika mengantarkan pekerjaan dari *loading unloading* menuju mesin atau *pallet stocker* yang dikerjakan menggunakan *microsoft excel*.



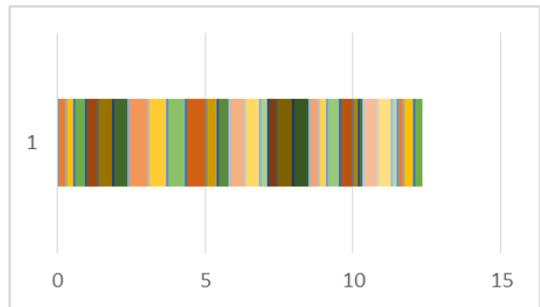
Gambar 12 Gantt Chart Waktu Operasi Pekerjaan LPT Menggunakan Software



Gambar 13 Gantt Chart Waktu Operasi Pekerjaan LPT Menggunakan Microsoft Excel



Gambar 14 Gantt Chart Waktu Operasi Stacker Crane LPT Menggunakan Software



Gambar 15 Gantt chart Waktu Operasi Stacker Crane LPT Menggunakan Microsoft Excel

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perbandingan model menggunakan metode SPT dan metode LPT maka dapat disimpulkan bahwa metode LPT lebih baik dibandingkan metode SPT. Metode LPT dikatakan lebih baik karena alokasi pekerjaan pada mesin lebih merata dan *makespan* lebih pendek. *Makespan* yang dihasilkan menggunakan metode LPT yaitu sebesar 1321,02 menit sedangkan *makespan* yang dihasilkan menggunakan metode SPT yaitu sebesar 1411,94 menit. Selain itu waktu operasi *stacker crane* lebih baik karena waktu *idle* yang lebih sedikit dan memiliki utilitas *stacker crane* lebih tinggi. Utilitas *stacker crane* yang dihasilkan menggunakan metode LPT yaitu sebesar 4,64% sedangkan utilitas *stacker crane* yang dihasilkan menggunakan metode SPT yaitu sebesar 4,50%. Tetapi jika dilihat kembali utilitas *stacker crane* masih terbilang kecil, hal tersebut dikarenakan waktu operasi pekerjaan cukup lama. Untuk menambah utilitas *stacker crane* maka dapat dilakukan penambahan mesin dan penambahan pekerjaan sehingga utilitas *stacker crane* bertambah. Selain itu *stacker crane* dapat digunakan untuk dua lantai produksi sekaligus sehingga utilitas *stacker crane* juga akan bertambah.

B. Saran

Terdapat beberapa saran untuk penelitian yang akan datang yaitu sebagai berikut:

- 1) Membuat perhitungan waktu operasi *stacker crane* dengan bantuan *software*.
- 2) Penelitian ini dapat dikembangkan dengan metode penjadwalan lain untuk dibandingkan hasilnya apakah lebih baik dari penggunaan metode penjadwalan saat ini.
- 3) Menambahkan faktor umur pahat pada setiap mesin CNC.

DAFTAR REFERENSI

- [1] K. E. Stecke. 1985. *Design, Planning, Scheduling and Control Problem of FMS*. Annuals of Operations Research, Vol.3, Page: 3-12, J.C.Baltzer A.G., *Scientific Publisher*.
- [2] D. D. Bedworth & J. E. Bailey. 1986. *Integrated Production Control System*. Arizona: John Wiley & Sons.
- [3] A. Setiawan, Susan, dan E. K. A. Pakpahan. "Penjadwalan Job Shop pada Empat Mesin Identik dengan Menggunakan Metode Shortest Processing Time dan Genetic Algorithm." *Jurnal Telematika*, vol. 9, pp. 9-14, 2014.
- [4] A. Setiawan, R. Wangsaputra, Y. Y. Martawirya, and A. H. Halim. "A Production Scheduling Model Considering Cutting Tools for an FMS to Minimize Makespan." *Proceedings of the Asia Pasific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2015*.
- [5] E. K. A. Pakpahan, S. Kristina, and A. Setiawan. "Proposed Algorithm to Improve Job Shop Production Scheduling Using Ant Colony Optimization Method." *IOP Conference Series: Materials Science Engineering 277*, 2017.
- [6] T. E. N. Sitepu, A. Setiawan, and T. K. Marshall. 2018. *Scheduling Flexible Manufacturing System with Stacker Crane Using Coloured Petri Nets*. Under Review. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.

Ari Setiawan, kelahiran Bandung, 27 Mei 1966, menempuh pendidikan S1 Teknik Mesin di ITB dan lulus pada tahun 1990. Pendidikan S2 Magister Teknik dan Manajemen Industri diperoleh di ITB pada tahun 1997. Gelar Doktor juga diperoleh di ITB dan lulus pada tahun 2017. Minat penelitian: perancangan produk, proses produksi, dan maintenance.

Teguh Ersada Natail Sitepu, kelahiran Medan, 11 Desember 1991, menempuh pendidikan S1 Teknik Industri di USU dan lulus pada tahun 2014. Pendidikan S2 Magister Teknik dan Manajemen Industri di ITB dan lulus pada tahun 2017. Minat penelitian: riset operasional, statistika industri, manajemen inovasi

Malvin Hilmento, kelahiran Depok, 8 Juni 1996. Jenjang pendidikan S1 di Teknik Industri Institut Teknologi Harapan Bangsa dan lulus tahun 2018. Minat penelitian: penjadwalan, dan quality control.

