

Model Simulasi untuk Sistem Manufaktur Fleksibel

Eka K. A. Pakpahan^{#1}, Sonna Kristina^{#2}, Ari Setiawan^{#3}

^{#1}Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa
Jl. Dipatiukur No 80-84, Bandung, Indonesia

¹eka@ithb.ac.id

²sonna@ithb.ac.id

³ari_setiawan@ithb.ac.id

Abstract— This paper discussed the design of simulation model for a specific flexible manufacturing system (FMS) workstation. It consist of four CNC machines with identical processing capability, a stacker crane as material handling equipment, pallet stocker as material storage location and a computer centre as integrator of all workstation's elements. Jobs to be processed are multi-stages which are divided by setup activity. A certain stage must be allocated on a single machine to avoid damage due to frequent material handling. Each stage consists of several operations and each operation requires a specific cutting tool. Thus, the capability of a particular machine to process a certain stage will depend on its cutting tools availability. When jobs-machine allocation has been created, it will guide the movement of material handling equipment to conduct material pickup and delivery. In this setting, the material handling equipment will perform as a shared resource, accommodating the movement of multiple jobs. By designing simulation model, this research is aimed to help production planner on determining three important decisions in timely fashion; the job-machine allocation, the number of cutting tools to be prepared on each machine's tools magazine and the priority rule for guiding material handling equipment.

Keywords— FMS, model, simulation, cutting tools, material handling priority rule.

Abstrak— Artikel ini membahas mengenai perancangan model simulasi untuk stasiun kerja di sebuah sistem manufaktur fleksibel (*flexible manufacturing system*/FMS). Stasiun kerja ini terdiri dari empat mesin CNC dengan kemampuan pemrosesan yang identik, sebuah alat pemindah material (*stacker crane*), lokasi penyimpanan material (*pallet stocker*) dan sebuah komputer yang mengintegrasikan semua komponen yang telah disebutkan sebelumnya. Pekerjaan yang dikerjakan di stasiun kerja ini bersifat *multi-stage*, setiap *stage* dipisahkan dengan kebutuhan *setup*. Sebuah *stage* pekerjaan harus dialokasikan ke satu mesin untuk menghindari kerusakan akibat pemindahan. Setiap *stage* pekerjaan terdiri dari beberapa operasi, dimana setiap operasi membutuhkan perkakas potong khusus. Untuk itu, mampu atau tidaknya sebuah mesin memproses sebuah *stage* pekerjaan ditentukan oleh ketersediaan perkakas potong yang dibutuhkan oleh rangkaian operasi dalam *stage* tertentu pada mesin tersebut. Saat alokasi pekerjaan ke mesin sudah dibuat, *stacker crane* akan melayani pemindahan material. Dalam hal ini, *stacker crane* melayani pemindahan bagi lebih dari satu pekerjaan sehingga membutuhkan aturan prioritas yang jelas. Melalui perancangan model simulasi, penelitian ini bertujuan untuk membantu perencana produksi dalam menentukan tiga keputusan penting secara cepat; pengalokasian pekerjaan ke mesin, penentuan jumlah perkakas potong yang harus disediakan di setiap mesin dan penentuan prioritas pemindahan material oleh *stacker crane*.

Kata Kunci— FMS, model, simulasi, perkakas potong, prioritas pemindahan material.

I. PENDAHULUAN

Otomasi secara umum dianggap sebagai jawaban untuk membangun fleksibilitas dan kecepatan di sebuah sistem produksi. Dua hal ini dibutuhkan agar sistem produksi tersebut mampu memproduksi produk yang bervariasi sesuai dengan keinginan pelanggan secara cepat. Sistem manufaktur fleksibel (FMS) adalah sebuah contoh sistem produksi dimana konsep otomasi diterapkan dalam perancangan stasiun kerjanya [1].

Penelitian ini mengkaji sebuah stasiun kerja FMS yang terdiri dari empat mesin CNC, sebuah *stacker crane* sebagai alat pemindah material, sebuah *pallet stocker* sebagai lokasi penyimpanan, dan sebuah komputer sebagai integrator dari semua elemen dalam stasiun kerja. Stasiun kerja ini bertanggung jawab untuk memproses pekerjaan dengan karakteristik *multi-stage* dimana peralihan dari satu *stage* ke *stage* berikutnya ditandai dengan aktivitas *setup*. Satu *stage* tertentu harus dikerjakan di mesin yang sama untuk menghindari pemindahan material yang terlalu sering. *Stage* pekerjaan terdiri dari beberapa operasi dimana setiap operasi membutuhkan perkakas potong yang khusus. Dengan begitu, kemampuan sebuah mesin dalam memproses sebuah *stage* pekerjaan ditentukan oleh tersedia atau tidaknya perkakas potong di dalam mesin yang dibutuhkan untuk memproses rangkaian operasi pada *stage* tersebut. Jika pekerjaan sudah dialokasikan ke mesin, alat *material handling* kemudian bekerja, menjemput dan mengantarkan material dari satu lokasi pemrosesan ke lokasi *setup* (antar *stage*) dan pada akhirnya menuju ke *pallet stocker*. Stasiun kerja ini ditargetkan untuk bekerja selama 24 jam tanpa operator.

Melalui deskripsi pada paragraf sebelumnya, dapat diketahui bahwa terdapat tiga keputusan penting yang harus diambil perencana produksi di stasiun kerja FMS yang telah disebutkan sebelumnya. Keputusan pertama adalah bagaimana mengalokasikan pekerjaan ke mesin, kedua adalah bagaimana menentukan jenis dan jumlah perkakas potong yang harus disiapkan di dalam setiap mesin dan ketiga adalah bagaimana menentukan prioritas pemindahan material jika alat *material handling* dibutuhkan oleh lebih dari satu material pada saat yang sama.

Untuk keputusan pertama, yaitu pengalokasian pekerjaan ke mesin, dapat dipandang sebagai permasalahan penjadwalan *job shop* pada mesin paralel. Kriteria kinerja yang umumnya

digunakan untuk penjadwalan pada mesin paralel adalah waktu penyelesaian seluruh pekerjaan (*makespan*). Pada kasus FMS ini, *makespan* ditargetkan berada di bawah 24 jam. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat alokasi pekerjaan ke mesin, penelitian [2] menerapkan algoritma *genetic algorithm* untuk membangkitkan jadwal pengerjaan pekerjaan di mesin, hanya mekanisme perhitungan masih dilakukan manual sehingga prosesnya tidak efisien, sementara [3] menerapkan *ant colony optimization* untuk memperoleh hal yang sama. Aturan *shortest processing time* (SPT) dan *longest processing time* (LPT) juga merupakan aturan heuristik yang sering digunakan untuk penjadwalan, hanya, implementasinya harus dimodifikasi mengingat karakteristik pekerjaan yang *multi-stage*. Penelitian yang diajukan di artikel ini bermaksud menganalisis nilai *makespan* jika aturan-aturan ini dipergunakan.

Pertimbangan terhadap perkakas potong dilakukan dalam penelitian [4] dan [5]. Pada [4] alokasi pekerjaan ke mesin dilakukan terlebih dahulu dan kemudian kebutuhan *perkakas potong* dihitung sebagai konsekuensi dari alokasi pekerjaan. Hanya, umur satu unit perkakas potong tidak dibatasi, sehingga kebutuhan perkakas potong dinyatakan dalam satuan total menit pemrosesan. Penelitian [5] mempertimbangkan kondisi dimana jumlah unit perkakas potong di suatu mesin hanya berjumlah dua unit dan masing-masing unit memiliki umur pakai 120 menit, konsekuensinya sebuah pekerjaan tidak dapat dialokasikan ke mesin jika di mesin tersebut sudah tidak terdapat lagi perkakas potong yang tidak memadai. Penelitian [5] kurang praktis dalam membantu perencana menentukan jumlah perkakas potong yang harus disiapkan, kelemahan inilah yang akan diatasi dalam penelitian ini.

Keputusan ketiga yang harus diambil perencana saat shift produksi dimulai adalah penentuan aturan prioritas pemindahan material. Penelitian [6], [7] dan [8] sudah melakukan penelitian terkait penjadwalan produksi dengan mempertimbangkan proses pemindahan material. Hasilnya menunjukkan bahwa pada objek kajian ini, waktu pemindahan material relatif sangat pendek dibandingkan waktu pemrosesan, sehingga tidak berdampak signifikan terhadap *makespan*. Selain itu, utilisasi alat pemindah material sangat rendah, sehingga perlu dipertimbangkan perancangan ulang konfigurasi stasiun kerja yang dilayani oleh alat pemindah material.

Ketiga keputusan yang telah dijelaskan sebelumnya dikaji dalam penelitian secara terpisah sehingga tidak memberikan gambaran bagi perencana produksi untuk melihat dampak dari keputusan-keputusan tersebut secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan proses pengambilan ketiga keputusan sehingga perencana dapat memahami pengaruhnya secara bersama-sama terhadap kondisi stasiun kerja dari waktu ke waktu serta *makespan* produksi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan pemodelan dan simulasi sistem. Pendekatan ini dipilih didasari oleh tujuan utama penelitian ini, yaitu memberikan kemudahan untuk

perencana produksi dalam mengamati dinamika kondisi stasiun kerja dari waktu ke waktu sebagai konsekuensi dari tiga keputusan utama yang diambilnya. Promodel merupakan perangkat simulasi yang dikenal menonjol dalam memberikan visualisasi dinamika sistem, karenanya, menjadi pilihan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini [9].

Metodologi penelitian terbagi menjadi 3 tahap, yaitu pendeskripsian sistem kajian, pembuatan model simulasi, *running* simulasi dan analisis hasil. Dua tahap pertama akan dijelaskan pada bagian ini dan tahap ketiga akan dibahas di bagian hasil dan pembahasan.

A. Deskripsi Sistem Kajian

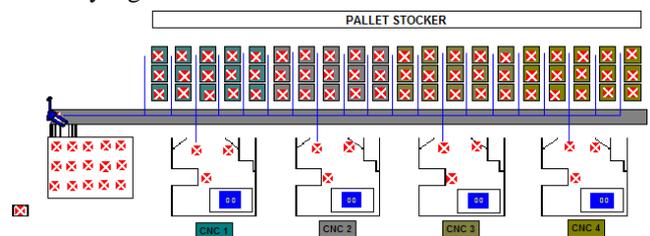
Stasiun kerja FMS yang dikaji terdiri dari satu area *loading/unloading*, empat mesin CNC identik dengan area *incoming* dan *outgoing* material di depan masing-masing mesin, alat pemindah material (*stacker crane*) dan *pallet stoker* sebagai lokasi penyimpanan material dengan kapasitas 60 pallet semuanya diintegrasikan oleh sebuah komputer. Setiap kali pekerjaan dialokasikan ke sebuah mesin akan tetapi mesin tersebut masih sibuk, maka material akan disimpan terlebih dahulu di *pallet stoker*. *Pallet stoker* sendiri dibagi penggunaannya untuk setiap mesin, yaitu 15 *pallet* per mesin. Untuk setiap mesin 15 *pallet* ini dibagi kembali menjadi 5 *pallet* untuk *raw material*, 5 *pallet* untuk *work in process material* dan 5 *pallet* untuk *finished product*.

Stasiun kerja FMS ini digunakan untuk memproses benda kerja berbahan aluminium. Pekerjaan terdiri dari beberapa *stage*, mewakili permukaan produk yang harus mengalami proses *machining*. Setiap *stage* terdiri dari beberapa operasi, mewakili bentuk-bentuk yang harus dibuat di satu permukaan tertentu, operasi-operasi tersebut membutuhkan jenis perkakas potong khusus. Contoh data pekerjaan di stasiun kerja ini diberikan pada Tabel I.

Pada saat operator memulai pekerjaannya, hal yang dilakukannya adalah: mengecek daftar pekerjaan yang harus dikerjakan, membuat alokasi pekerjaan ke mesin, menyediakan perkakas potong untuk kebutuhan pemrosesan, menyediakan perkakas potong untuk kebutuhan pemrosesan, mempersiapkan material pada di area *loading/unloading*, menentukan aturan prioritas pemindahan material, menjalankan sistem produksi dan membiarkannya beroperasi selama berjalan 24 jam tanpa operator.

B. Model Simulasi

Model simulasi dibuat dengan Promodel 4.2 (*student version*). Sesuai karakteristik fisik stasiun kerja, model simulasi yang dibuat diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Model Simulasi FMS

TABEL I
WAKTU OPERASI (MENIT)

Pekerjaan	Stage	Perkakas potong ke-											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	10	10	0	0	0	15	10	10	25	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	35	40	45	30	25	30	35	0	0	0	0	0
	2	45	30	0	0	0	0	0	35	40	50	20	20
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	50	50	60	0	35	35	0	0	50	0	0	0
	2	30	55	0	0	0	0	25	40	50	30	0	50
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	35	20	0	50	40	50	0	0	35	10	0	0
	2	0	20	0	0	0	0	0	15	20	30	15	20
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	10	15	0	20	10	0	0	0	0	20	0	15
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	20	15	0	0	0	0	0	0	15	20	30	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	45	30	25	30	25	35	0	0	0	50	0	0
	2	35	50	0	0	0	0	35	30	20	30	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	40	20	50	40	40	0	0	0	50	0	0	0
	2	0	30	0	0	0	20	0	15	25	0	25	5
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	30	40	40	30	50	0	50	40	0	0
	2	60	50	0	0	0	0	0	40	45	40	0	45
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	40	50	60	0	0	40	50	0	0	0	0	0
	2	50	60	0	0	0	0	0	45	45	0	40	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	40	50	0	30	20	0	0	0	0	20	0	0
	2	40	0	0	0	0	0	50	60	40	0	20	30
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	50	40	0	0	60	0	60	50	0	0	60	0
	2	45	0	0	0	0	45	0	30	0	30	50	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	30	40	30	40	25	0	25	0	0	50	0	0
	2	45	0	0	0	0	0	0	45	30	0	40	40
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	0	10	0	25	0	20	15	0	0	20	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	15	0	0	0	0	15	10	20	20	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Beberapa asumsi diberlakukan dalam penelitian ini. Asumsi pertama adalah bahwa spesifikasi pekerjaan sudah jelas dan umur perkakas potong di setiap mesin bersifat deterministik. Penelitian ini tidak mempertimbangkan

fenomena kerusakan yang mungkin terjadi saat mesin ataupun *stacker crane* sedang bekerja.

Berikutnya akan dijelaskan langkah-langkah pemasukan data dan logika berjalannya sistem penjadwalan di FMS.

Langkah pemasukan data:

- Langkah 1 Berdasarkan panduan Tabel I, spesifikasikan jumlah pekerjaan yang akan dijadwalkan, jumlah *stage* terbesar diantara pekerjaan-pekerjaan, dan jenis perkakas potong yang dibutuhkan oleh pekerjaan-pekerjaan tersebut.
- Langkah 2 Isikan waktu pemrosesan operasi di setiap *stage* pekerjaan. Simpan isian waktu pemrosesan dalam *file* .txt.
- Langkah 3 Hubungkan model simulasi dengan *file* .txt. Pada Promodel, hal ini dapat dilakukan di menu *Build* → *More Elements* → *External Files*.
- Langkah 4 Tentukan aturan penjadwalan. Pada model simulasi ini, disediakan pilihan aturan LPT dan SPT.
- Langkah 5 Tentukan batas umur dari perkakas potong.
- Langkah 6 Tentukan prioritas penjemputan material oleh *stacker crane*. Dalam hal ini apakah aturan yang akan dipakai adalah *longest waiting* atau *closest entity*.

Langkah simulasi:

- Langkah 1 Model simulasi akan dimulai dengan kondisi beban mesin bernilai nol, dan unit terpakai untuk setiap jenis perkakas potong adalah nol. *Stacker crane* dalam posisi menunggu perintah pemindahan material, *pallet stocker*, area *loading/unloading* serta *incoming* dan *outgoing* dalam kondisi kosong.
- Langkah 2 Baca data dalam *file* .txt dan urutkan berdasarkan aturan yang dipilih di langkah ke-4 pemasukan data. Urutan yang dihasilkan disebut *dispatch list*.
- Langkah 3 Berdasarkan *dispatch list*, urutkan kedatangan material di area *loading/unloading*. Mulai dari pekerjaan di urutan pertama: cek mesin dengan beban terkecil. Pilih nomor mesin sebagai lokasi pemrosesan pekerjaan. Perbaharui nilai beban mesin dengan menambahkan waktu pemrosesan pekerjaan yang dialokasikan kepadanya.
- Langkah 4 Berdasarkan nomor mesin yang terpilih di langkah 3, periksa status mesin. Jika statusnya *idle*, maka pilih mesin tersebut sebagai tujuan pemindahan dan lanjutkan ke langkah 7; jika statusnya sibuk, maka lanjutkan ke langkah 5.
- Langkah 5 Berdasarkan nomor mesin di langkah 3, cek apakah status area *incoming* di mesin tersebut kosong. Jika statusnya kosong, maka pilih area *incoming* mesin sebagai tujuan pemindahan dan lanjutkan ke langkah 7; jika statusnya penuh, maka lanjutkan ke langkah 6.
- Langkah 6 Berdasarkan nomor mesin di langkah 3, cek apakah status *pallet stocker* yang bersesuaian dengan nomor mesin dalam kondisi kosong. Jika ya, maka pilih *pallet stocker* sebagai tujuan pemindahan dan lanjutkan ke langkah 7, jika tidak maka tunggu hingga salah satu

kondisi yang disebutkan di langkah 5, 6, atau 7 terpenuhi.

- Langkah 7 Kirim perintah penjemputan kepada *stacker crane*.
- Langkah 8 Berdasarkan perintah penjemputan yang masuk, *stacker crane* akan membuat *request list* dan menjawabnya sesuai *priority rule* yang diinisiasikan perencana di langkah ke-6 pemasukan data. Mulai dari urutan pertama di *request list*, *stacker crane* akan membaca lokasi tujuan dan memindahkan material ke tujuan tersebut. Permintaan penjemputan yang masuk selama *stacker crane* bergerak akan dicatat dalam *request list*. Kecepatan gerak *stacker crane* adalah 30 meter/menit dan jarak tempuh *stacker crane* diberikan pada Tabel II, III dan IV. Setelah pengantaran selesai, *stacker crane* akan berhenti di lokasi pengantaran terakhir untuk membaca permintaan di urutan berikutnya. Jika *request list* kosong, maka *stacker crane* akan menunggu di lokasi pengantaran terakhir tersebut.
- Langkah 9 Untuk pekerjaan yang sudah diantarkan ke mesin. Perbaharui status mesin menjadi sibuk.
 - a. Baca data operasi dan kebutuhan perkakas potong yang dimasukkan di langkah ke-3 pemasukan data.
 - b. Berdasarkan urutan operasi, cek jenis perkakas potong yang dibutuhkan. Bandingkan sisa umur perkakas potong dengan waktu operasi. Jika sisa umur lebih besar dibandingkan waktu pemrosesan, maka lanjutkan ke langkah 9.d. Jika tidak, maka lanjutkan ke langkah 9.c.
 - c. Set unit terpakai = unit terpakai + 1
 - d. Mulai waktu pemrosesan. Kurangi sisa umur perkakas potong yang dipakai dengan waktu operasi.
 - e. Cek apakah seluruh operasi dalam *stage* sudah dikerjakan. Jika belum, kembali ke langkah 9.b, jika sudah lanjutkan ke langkah 9.f
 - f. Pindahkan material ke area *outgoing*. Perbaharui status mesin menjadi *idle*.
- Langkah 10 Untuk pekerjaan yang ada di area *outgoing*, baca data pemrosesan dan tentukan apakah terdapat *stage* berikutnya. Jika ya, maka pilih area *loading/unloading* sebagai tujuan berikutnya. Jika tidak, pilih *pallet stocker* sebagai tujuan berikutnya. Lanjutkan ke langkah 7.
- Langkah 11 Cek apakah seluruh pekerjaan telah dialokasikan ke mesin. Jika ya, lanjutkan ke langkah 13. Jika tidak, kembali ke langkah 3.
- Langkah 12 Hitung *makespan* produksi.

TABEL II

JARAK AREA LOADING/UNLOADING KE MESIN DAN RM PALLET STOCKER

Tujuan	Jarak Horizontal	Jarak Vertikal
PS_M1_1	3,10	0
PS_M1_2	3,86	0
PS_M1_3	4,62	0
Mesin_1	4,62	1,06
PS_M1_4	5,38	0
PS_M1_5	6,14	0
PS_M2_1	6,90	0
PS_M2_2	7,66	0
PS_M2_3	8,42	0
Mesin_2	8,42	1,06
PS_M2_4	9,18	0
PS_M2_5	9,94	0
PS_M3_1	10,70	0
PS_M3_2	11,46	0
PS_M3_3	12,22	0
Mesin_3	12,22	1,06
PS_M3_4	12,98	0
PS_M3_5	13,74	0
PS_M4_1	14,50	0
PS_M4_2	15,26	0
PS_M4_3	16,02	0
Mesin_4	16,02	1,06
PS_M4_4	16,78	0
PS_M4_5	17,54	0

TABEL III

JARAK AREA LOADING/UNLOADING KE WIP PALLET STOCKER

Tujuan	Jarak Horizontal	Jarak Vertikal
WIP_M1_1	3,10	1,06
WIP_M1_2	3,86	1,06
WIP_M1_3	4,62	1,06
WIP_M1_4	5,38	1,06
WIP_M1_5	6,14	1,06
WIP_M2_1	6,90	1,06
WIP_M2_2	7,66	1,06
WIP_M2_3	8,42	1,06
WIP_M2_4	9,18	1,06
WIP_M2_5	9,94	1,06
WIP_M3_1	10,70	1,06
WIP_M3_2	11,46	1,06
WIP_M3_3	12,22	1,06
WIP_M3_4	12,98	1,06
WIP_M3_5	13,74	1,06
WIP_M4_1	14,50	1,06
WIP_M4_2	15,26	1,06
WIP_M4_3	16,02	1,06
WIP_M4_4	16,78	1,06
WIP_M4_5	17,54	1,06

Simulasi dijalankan pada komputer (*personal computer*) dengan spesifikasi Core i3 dan RAM 2GB.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pilihan dari perencana, skenario yang mungkin muncul adalah aturan penjadwalan SPT dengan aturan prioritas *closest entity* atau *longest waiting*; serta aturan penjadwalan LPT dengan aturan prioritas *closest entity* atau *longest waiting*. Nilai *makespan* dan utilitas *stacker crane* diresumekan di Tabel V.

Memperhatikan hasil simulasi di Tabel V, diketahui bahwa perubahan aturan penjadwalan mempengaruhi nilai *makespan* dan aturan LPT lebih mampu meminimumkan nilai *makespan*.

Ilustrasi beban di tiap mesin dalam bentuk *ganttt chart* untuk skenario ke-4 (LPT-Longest Waiting) diberikan di Gambar 2, 3, 4, dan 5. Dari Gambar 4, 5, 6 dan 7 tersebut

TABEL IV

JARAK AREA LOADING/UNLOADING KE FP PALLET STOCKER

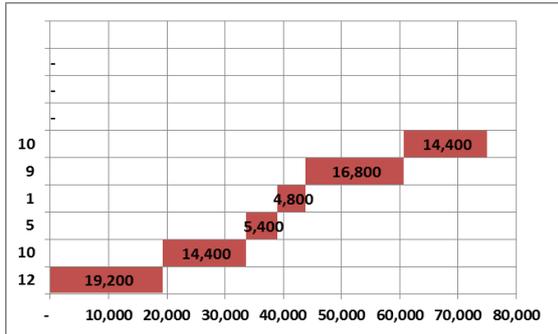
Tujuan	Jarak Horizontal	Jarak Vertikal
FP_M1_1	3,10	2,12
FP_M1_2	3,86	2,12
FP_M1_3	4,62	2,12
FP_M1_4	5,38	2,12
FP_M1_5	6,14	2,12
FP_M2_1	6,90	2,12
FP_M2_2	7,66	2,12
FP_M2_3	8,42	2,12
FP_M2_4	9,18	2,12
FP_M2_5	9,94	2,12
FP_M3_1	10,70	2,12
FP_M3_2	11,46	2,12
FP_M3_3	12,22	2,12
FP_M3_4	12,98	2,12
FP_M3_5	13,74	2,12
FP_M4_1	14,50	2,12
FP_M4_2	15,26	2,12
FP_M4_3	16,02	2,12
FP_M4_4	16,78	2,12
FP_M4_5	17,54	2,12

TABEL V

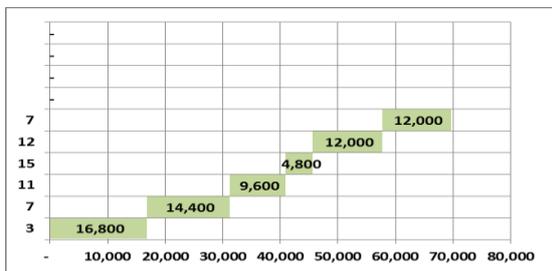
MAKESPAN DAN UTILITAS STACKER CRANE UNTUK 4 SKENARIO

Aturan Penjadwalan	Aturan Prioritas SC	Makespan (menit)	Utilitas SC (%)
SPT	<i>Closest entity</i>	1,332	2,52%
	<i>Longest waiting</i>	1,332	2,78%
LPT	<i>Closest entity</i>	1,323	3,66%
	<i>Longest waiting</i>	1,323	3,01%

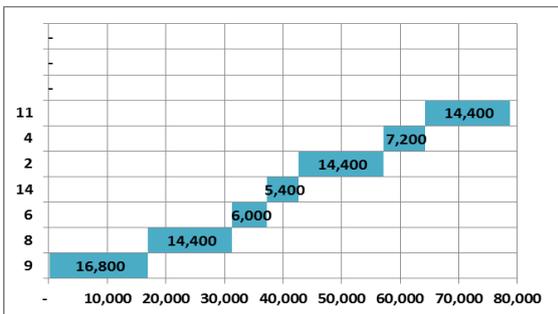
tampak bahwa *makespan* untuk skenario keempat bernilai 79,763 detik atau 1,323 menit. Jika pola *makespan* menunjukkan konsistensi di dua aturan penjadwalan yang diujicobakan, maka lain halnya dengan pola nilai utilitas *stacker crane*. Pada Tabel IV dapat dilihat bahwa saat atur-



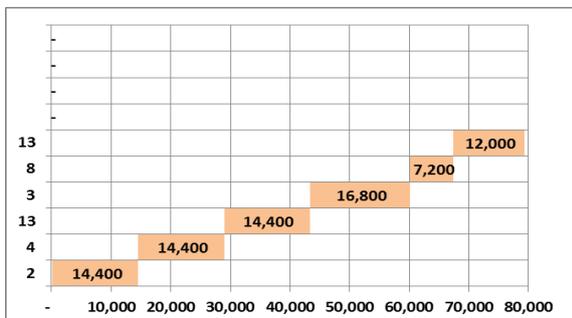
Gambar 2 Gantt Chart Mesin 1 (waktu (detik) vs job (job ke-i))



Gambar 3 Gantt Chart Mesin 2 (waktu (detik) vs job (job ke-i))



Gambar 4 Gantt Chart Mesin 3 (waktu (detik) vs job (job ke-i))



Gambar 5 Gantt Chart Mesin 4 (waktu (detik) vs job (job ke-i))

ran SPT diterapkan, maka perubahan dari aturan *closest entity* ke *longest waiting* akan menyebabkan utilitas *stacker crane* makin tinggi, sementara saat aturan LPT yang diterapkan, maka perubahan dari aturan *closest entity* ke *longest waiting* akan menyebabkan utilitas *stacker crane* menurun. Visualisasi yang diberikan Promodel menunjukkan bahwa perubahan aturan SPT ke LPT akan menyebabkan pekerjaan dengan waktu panjang dieksekusi terlebih dahulu dan menyebabkan waktu tunggu *stacker crane* lebih tinggi juga.

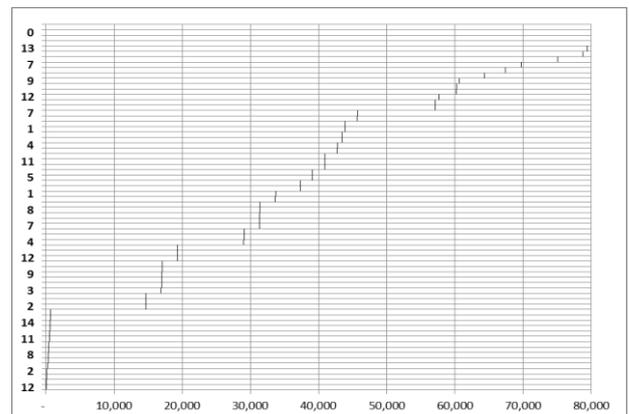
Hasil lain yang dikeluarkan oleh model simulasi adalah jumlah dan jenis perkakas potong yang harus disediakan di setiap mesin (lihat Tabel V). Dengan bekal informasi ini, operator dapat dengan cepat mempersiapkan perkakas potong di awal *shift*.

Informasi terakhir yang diberikan model simulasi ini adalah *gant chart* untuk kegiatan *stacker crane*. Hal ini diberikan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa waktu operasi *stacker crane* sangat cepat, diagram dalam

TABEL V

KEBUTUHAN PERKAKAS POTONG DI SETIAP MESIN PADA SKENARIO KE-4

Jenis CT	Mesin ke- (unit)			
	1	2	3	4
1	2	2	2	2
2	2	2	1	2
3	1	1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
6	1	1	1	1
7	1	1	1	1
8	2	1	1	1
9	1	1	2	2
10	1	2	2	1
11	1	1	1	1
12	1	0	1	1



Gambar 6. Gantt Chart stacker crane (waktu (detik) vs job (job ke-))

gant chart hampir berbentuk garis yang menunjukkan waktu operasi yang pendek (cepat). Hasil ini sejalan dengan apa yang dikemukakan oleh penelitian [7] dan [8].

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuat model simulasi yang mampu memberikan gambaran kondisi stasiun kerja FMS dari waktu ke waktu sebagai konsekuensi dari keputusan aturan pengurutan pekerjaan dan penetapan aturan prioritas pemindahan material. Penelitian ini juga berhasil membantu perencana produksi dalam menentukan jumlah unit perkakas potong yang harus disiapkan di setiap awal *shift*. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada usaha untuk merelaksasi asumsi dengan mempertimbangkan fenomena random bagi umur pahat, waktu pemrosesan dan permintaan produk.

UCAPAN TERIMA-KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian pendidikan dan Kebudayaan yang telah mendanai penelitian ini secara penuh melalui Kontrak Penelitian 0918/K4/KM/2018.

DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Setiawan, "A production scheduling model considering cutting tools for an fms to minimize makespan", *Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference*, 2015.
- [2] A. Setiawan, Susan and E. Pakpahan, "Penjadwalan *job shop* pada empat mesin identik dengan menggunakan metode *shortest processing time* dan *genetic algorithm*", *Jurnal Telematika Institut Teknologi Harapan Bangsa*, Vol. 9, No. 1, 2014.

- [3] T. Surya, "Penjadwalan *job dua stage* pada *flexible manufacturing system* menggunakan metode *ant colony optimization*", Tugas Akhir, Teknik Industri Institut Teknologi Harapan Bangsa, 2016.
- [4] T. Sitepu, A. Setiawan, dan A. Chandra, "Penjadwalan *job dua stages* dan penentuan perkakas potong pada *flexible manufacturing system* menggunakan metode *genetic algorithm*," *Jurnal Telematika*, Vol. 12, No. 2, 2017.
- [5] E. K. A. Pakpahan, S. Kristina, dan A. Setiawan, "Proposed algorithm to improve *job shop production scheduling* using *ant colony optimization method*", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2017, Vol 277, Issue 1, 012050.
- [6] T. Sitepu, A. Setiawan, and T. Marshall, "Scheduling Flexible Manufacturing System with stacker crane using Coloured Petri Nets", *Jurnal Petra Surabaya (under review)*, 2017.
- [7] E. K. A. Pakpahan, S. Kristina, A. Setiawan, dan E. Merlians, "Job shop scheduling considering material handling process", *MATEC Web of Conferences* 204, 07008 (2018), DOI:10.1051/mateconf/201820407008, 2018.
- [8] A. Setiawan, T. Sitepu, dan M.Hilmanto, "Model penjadwalan *flexible manufacturing system* dengan memperhatikan sistem penanganan material", *Jurnal Telematika edisi Industrial Engineering Seminar and Call for Paper (IESC)*, 2018.
- [9] C. Harrell, B. K Ghosh dan R. Bowden, *Simulation using Promodel*, Boston: McGraw-Hill (2000).

Eka K.A Pakpahan, menempuh pendidikan S1 Teknik Industri di ITB dan pendidikan S2 Magister Teknik dan Manajemen Industri di ITB. Minat penelitian: penjadwalan produksi, pemeliharaan, dan optimasi.

Sonna Kristina, menempuh pendidikan S1 Teknik Industri di Universitas Kristen Maranatha dan pendidikan S2 Magister Teknik dan Manajemen Industri di ITB. Minat penelitian: manajemen industri, perancangan rute transportasi dan optimasi.

Ari Setiawan, 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*.

Halaman kosong