

PERANCANGAN ALGORITMA PENJADWALAN PEMBUATAN CETAKAN SESUAI DENGAN *DUE DATE* JADWAL PELEBURAN LOGAM UNTUK Mendukung KONSEP SISTEM PRODUKSI TERDISTRIBUSI MANDIRI (STUDI KASUS SEKSI *FOUNDRY* PT. BANINUSA INDONESIA)

Yatna Yuwana Martawirya⁽¹⁾, Bagus Arthaya⁽²⁾, dan Yanni⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratorium Otomasi dan Sistem Produksi, Departemen Teknik Mesin FTI-ITB

⁽²⁾ Fakultas Teknologi Industri-Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan

ABSTRAK

Saat ini industri manufaktur di Indonesia dituntut untuk memiliki fleksibilitas yang tinggi agar dapat merespon dengan cepat terjadinya perubahan-perubahan dinamis dalam proses produksi. Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri (SPTM) merupakan salah satu alternatif sistem produksi yang dapat meningkatkan fleksibilitas sistem dengan mampu menyesuaikan diri pada kondisi perubahan dinamis yang terjadi di dalam sistem tersebut.

SPTM merupakan sistem produksi di mana elemen produksinya merupakan elemen yang mandiri, yang proses perencanaan dan pengendalian produksinya dilakukan secara terdistribusi oleh masing-masing elemen produksi yang mandiri. Masing-masing elemen produksi tersebut mempunyai otonomi untuk melakukan fungsi monitoring, fungsi pengambilan keputusan, fungsi pengendalian, dan fungsi komunikasi dengan elemen produksi lainnya. Karena masing-masing elemen produksi mengambil keputusan secara mandiri maka harus terdapat pengkoordinasian hasil pengambilan keputusan agar tidak timbul konflik antar elemen produksi mandiri.

Dalam penelitian ini diterapkan konsep SPTM pada Seksi Foundry di PT. Baninusa Indonesia. Tugas yang dibahas adalah melakukan penjadwalan pembuatan cetakan sesuai dengan jadwal peleburan logam sehingga dapat mendukung rencana cor dan memenuhi pesanan konsumen. Penelitian ini diselesaikan dengan bantuan program aplikasi yang dikembangkan khusus untuk itu sehingga diharapkan dapat memberikan solusi berupa penjadwalan pembuatan cetakan yang lebih baik.

ABSTRACT

At this moment, manufacturing industries in Indonesia must have high flexibility that can quickly responds dynamic changes in production processes. Autonomous Distributed Manufacturing System (ADiMS) is one of the production system alternative that can increase system flexibility with ability to adapt dynamic changing condition in the system.

ADiMS is a production system where productions elements are independent, which planning process and production control is distributed to each independent element. Each of production's element has autonomy in running the monitoring, taking the decision, controlling, and communications functions with the other production's elements. Because each of the production elements take the decision independently, there should be a coordination of decision making result so the conflict will not occur among independent production elements.

In this research ADiMS concept is applied in Foundry section at PT. Baninusa Indonesia. The task is to make a sand mold producing schedule based on the schedule of melting of cast iron or cast steel so it can support cast's order and filling the customer order. This research is done with the help of application program that specilized developed so it is hoped will make results a better scheduling of making sand mold casting.

Keywords: Autonomous Distributed Manufacturing System, Scheduling, Sand Mold

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang sedang berkembang dan seiring dengan makin canggihnya teknologi manufaktur, persaingan pesat pada dunia industri khususnya industri manufaktur di Indonesia tidak dapat dihindarkan lagi. Dengan perkembangan teknologi informasi yang semakin canggih memungkinkan untuk dapat dilakukan pengintegrasian secara menyeluruh semua aktivitas pada sistem produksi sehingga diharapkan sistem produksi tersebut memiliki fleksibilitas yang tinggi untuk dapat merespon dengan cepat perubahan dinamis serta gangguan-gangguan yang mungkin timbul.

Pada umumnya sistem produksi yang dilakukan di industri manufaktur di Indonesia masih bersifat konvensional di mana kegiatan produksi dijalankan dari satu bagian ke bagian lainnya secara bertahap, saling menunggu dan tidak bisa saling mendahului. Aktivitas produksi dimulai dari Seksi Desain, dilanjutkan ke Seksi PPC dan akhirnya baru akan dilanjutkan ke Seksi Manufakturnya. Pada industri yang dijadikan studi kasus, sistem perencanaan dan pengendalian produksinya juga masih terpusat di Seksi PPC. Seksi PPC bertugas menyusun rencana produksi dan melakukan pengontrolan terhadap seluruh bagian yang ada. Sistem produksi seperti ini tidak fleksibel karena apabila terjadi kesalahan atau hal-hal di luar rencana, maka *feedback* dari kesalahan tersebut akan terlambat terdeteksi.

Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri atau SPTM yang dikembangkan di Laboratorium Teknik Produksi Departemen Teknik Mesin ITB, merupakan salah satu alternatif dari sistem produksi yang fleksibel dan memiliki kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan cepat pada kejadian yang tidak terduga yang muncul pada saat proses produksi sedang berlangsung. Pada SPTM terdapat pendistribusian tugas pada elemen produksinya, selain itu sistem ini juga memiliki sifat otonomi pada setiap elemen produksinya seperti kemandirian dalam melakukan fungsi *monitoring*, perencanaan proses produksi, pengendalian produksi, pengambilan keputusan dan juga fungsi komunikasi. Elemen produksi ini diantaranya terdiri dari operator, peralatan produksi, benda kerja dan juga stasiun kerja. Untuk mendukung konsep SPTM diperlukan elemen produksi yang masing-masing dapat berdiri sendiri dan berkomunikasi dengan elemen produksi lainnya untuk memperoleh informasi terbaru yang diperlukan dalam pengambilan keputusan.

Agar konsep SPTM dapat dijalankan maka harus dilakukan pemodelan dengan membuat model *virtual* dari obyek nyata ke dalam perangkat lunak komputer. Dengan demikian diharapkan sistem produksi dapat menjadi lebih fleksibel dalam mengantisipasi terjadinya perubahan-perubahan yang dinamis dalam sistem produksinya. Hal ini disebabkan karena masing-masing elemen produksi dapat berdiri sendiri dan saling berkomunikasi untuk melakukan pengambilan keputusan. Fungsi penting yang juga harus terdapat dalam konsep SPTM ini adalah fungsi koordinasi karena

dengan adanya koordinasi antar sesama elemen produksi maka dapat dicegah timbulnya konflik.

Pada Seksi *Foundry* (bagian pengecoran) yang membuat bahan awal ring piston terdapat berbagai macam tugas yang harus dilakukan yaitu peleburan logam, pembuatan cetakan yang akan digunakan, penuangan logam cair pada cetakan, pendinginan dan pembongkaran cetakan. Pembuatan cetakan pasir dilakukan dengan bantuan mesin pembuat cetakan. Tugas yang akan dibahas pada penelitian ini adalah penjadwalan pembuatan cetakan yang akan digunakan. Agar rencana cor untuk setiap pesanan dapat terpenuhi sesuai dengan kebutuhan konsumen maka harus disiapkan cetakan sesuai dengan kebutuhan dalam hal jumlah dan waktu. Oleh karena itu harus dibuat penjadwalan pembuatan cetakan sesuai dengan jadwal rencana cor yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya yang telah menghasilkan jadwal peleburan logam pada kedua tanur yang tersedia [1].

2. SISTEM PRODUKSI TERDISTRIBUSI MANDIRI

Terdapat tiga sifat dasar SPTM yang dapat dinyatakan sebagai berikut[2]:

Pemberian Otonomi pada Elemen Produksi

Setiap elemen produksi diberi otonomi untuk melakukan fungsi *monitoring* guna mengetahui status dirinya sendiri, fungsi pengambilan keputusan untuk mengambil keputusan proses apa yang paling cocok untuk dirinya berdasarkan kriteria yang dimiliki, fungsi pengendalian untuk mengendalikan dirinya sendiri dalam melaksanakan operasi produksi, dan fungsi komunikasi yang digunakan oleh satu elemen produksi untuk saling bertukar informasi tentang data-data seperti status dirinya dan juga hasil pengambilan keputusan yang telah diambil kepada elemen produksi lain yang memerlukan.

Pendistribusian Tugas pada Elemen Produksi

Masing-masing elemen produksi diberi tugas sendiri-sendiri sesuai dengan fungsi dan ruang lingkup masing-masing. Dengan adanya pendistribusian tugas ini maka tidak diperlukan pusat pengendali untuk mengendalikan jalannya suatu proses produksi maupun untuk mengendalikan elemen produksi tersebut.

Pengkoordinasian Hasil Pengambilan Keputusan

Untuk menghindari terjadinya konflik maka dibutuhkan pengkoordinasian hasil pengambilan keputusan yang telah dilakukan oleh masing-masing elemen produksi.

3. KONSEP PENJADWALAN PEMBUATAN CETAKAN

Cetakan merupakan salah satu komponen yang harus disiapkan sebelum dilakukan proses pengecoran. Penjadwalan pembuatan cetakan akan dibuat sesuai dengan *due date* jadwal peleburan logam. Apabila logam telah selesai dilebur dan akan dilakukan pengecoran maka cetakan juga harus telah tersedia sesuai dengan yang dibutuhkan. Pembuatan cetakan ini diusahakan tidak diselesaikan terlalu cepat karena dapat

mengakibatkan cetakan menumpuk pada Seksi *Foundry*. Pembuatan cetakan juga tidak boleh terlambat karena akan mengakibatkan tidak terpenuhinya *due date* dari Seksi Pemesinan yang merupakan seksi hilir dari Seksi *Foundry* yang akhirnya akan mengakibatkan pesanan menjadi terlambat diselesaikan.

Pesanan yang masuk ke Seksi *Foundry* berasal dari bagian pemesinan berupa lot. Untuk efisiensi peleburan logam, lot-lot pesanan yang memiliki kesamaan jenis material, jenis ring, dan diameter yang sama dapat digabungkan menjadi satu *batch* tertentu. *Batch* tersebut memiliki total permintaan yang kuantitasnya sama dengan jumlah kuantitas untuk semua lot yang terkandung di dalam *batch* tersebut. Kemudian dari total permintaan ini akan dapat ditentukan jumlah *charge/melting* yang dibutuhkan untuk melebur *batch* itu. Proses penjadwalan dari *charge-charge* ini telah dikerjakan pada penelitian sebelumnya [1].

Dimisalkan spesifikasi ring pesanan konsumen adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Spesifikasi Ring

No.Order	No. Lot	Jenis Ring	Jenis Material	Diameter (mm)	Total Permintaan
Order 1	1	1	NPR	85	4500
	2	OIL	NPR-H	85	3000
Order 2	3	2	NPR	85	5000
	4	OIL	NPR	96	6250
	5	1	NPR	85	5400

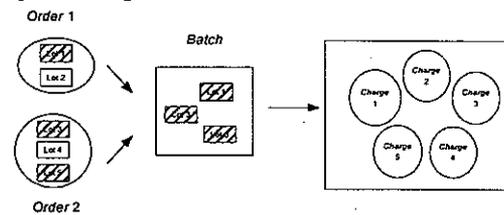
Order 1 terdiri dari dua lot pesanan yaitu lot 1 dan lot 2 sedangkan *order 2* terdiri dari tiga lot pesanan yaitu lot 3, lot 4 dan lot 5. Karena lot 1, lot 3 dan lot 5 memiliki kesamaan jenis ring, jenis material dan diameter ring maka ketiga lot ini akan dikelompokkan ke dalam satu *batch*. Kemudian dengan melihat perhitungan pada Tabel 2 diketahui bahwa satu *batch* ini akan terdiri dari lima *charge*.

Tabel 2 Perbandingan Jumlah *Excess* Ring Setelah Pengelompokan Total Permintaan (dalam *pieces*)

Lot	Total Permintaan	Standar 1 kali <i>charge</i>	Total Permintaan tidak dikelompokkan		Total Permintaan dikelompokkan		
			jumlah <i>charge</i>	excess ring	total	Jumlah <i>charge</i>	Excess ring
1	4500		2	1500	14900	5	100
3	5000	3000	2	1000			
5	5400		2	600			
			3100				

Dapat dilihat dari Tabel 2 di atas bahwa dengan pengelompokan lot, *excess* ring yang timbul hanya 100 *pieces* ring. Sedangkan bila tidak dikelompokkan, *excess* ring yang timbul sebanyak 3100 *pieces* ring. Karena perbedaan *excess* ring inilah, lot-lot dikelompokkan menurut kesamaan jenis ring, jenis material, dan diameternya. Standar bahwa satu kali *charge* adalah tiga

ribu *pieces* ditentukan oleh kapasitas tanur peleburan dan ukuran ring yang dibuat. Gambar 1 memperlihatkan transformasi dari Lot menjadi *Batch* dan selanjutnya menjadi *Charge*.



Gambar 1 Transformasi Lot - Batch - Charge

Proses penjadwalan pembuatan cetakan akan dilakukan berdasarkan jadwal peleburan logam yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya [1]. Penjadwalan cetakan dilakukan terhadap setiap *charge* yang telah dijadwalkan di kedua tanur yang tersedia. Pesanan yang masuk ke Seksi *Foundry* ini berupa lot pesanan, dan satu lot pesanan bisa terdiri dari banyak *charge* tergantung dari berapa kapasitas ring piston yang dapat dihasilkan dalam satu kali *charge*. Setiap kali *charge*, jumlah bahan baku yang dilebur adalah sebanyak 500 kg dan dapat digunakan untuk menuang ke dalam 26 tumpukan/roda dari nampan cetakan (*piles*). Jumlah bahan baku ini tidak dapat dikurangi ataupun ditambah mengingat efisiensi peleburan di tanur, jadi berapapun jumlah ring piston yang diminta bahan baku yang dilebur tetap 500 kg. Ketetapan ini membuat jumlah ring piston yang dihasilkan dapat melebihi jumlah ring piston yang diminta.

Pembuatan cetakan untuk setiap *charge* yang telah dijadwalkan di tanur ini harus sesuai dengan kapasitas ring piston yang dapat dihasilkan dalam satu kali *charge*. Apabila dalam satu kali *charge* kapasitas ring piston yang dapat dihasilkan adalah 2700 *pieces* ring piston, maka harus dibuat cetakan untuk dapat memenuhi kapasitas ring piston tersebut.

Strategi global yang digunakan untuk menjadwalkan adalah [3] :

Proses produksi suatu lot benda kerja tidak perlu dimulai terlalu dini jika masih cukup waktu untuk menyelesaikan.

Strategi ini sangat sesuai untuk penjadwalan *backward*. Oleh karena itu metode penjadwalan yang digunakan adalah metode *backward* (penjadwalan mundur). Metode penjadwalan ini memulai penjadwalan dari *due date* terbesar mundur terhadap waktu ke arah $t=0$. Dengan penjadwalan *backward* maka *charge* akan dijadwalkan ke mesin cetak yang tersedia mulai dari belakang yaitu dari *charge* dengan *due date* terbesar, dengan demikian waktu *earliness* pembuatan cetakan dapat diminimasi.

Pengambilan keputusan dimulai setiap kali terjadi perubahan kondisi (*event*). *Event* pada sistem ini yaitu :

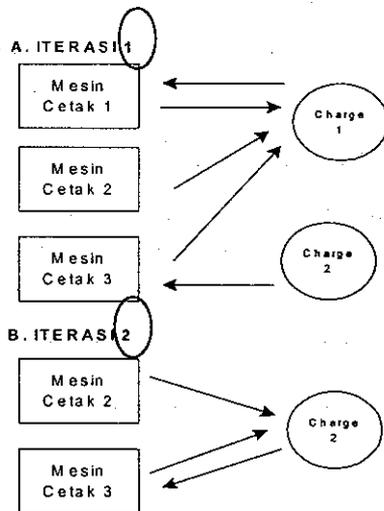
1. *Due date* (batas waktu akhir pengerjaan)
2. Awal suatu operasi
3. Akhir suatu operasi

Pada sistem penjadwalan ini, elemen produksi yang terlibat dalam pengambilan keputusan adalah :

1. Setiap *charge* yang telah terjadwal di kedua tanur yang tersedia.
2. Setiap mesin cetak.

Dalam pengambilan keputusan yang dilakukan oleh setiap elemen produksi mungkin mungkin hasilnya dapat tidak selaras atau timbul konflik. Untuk menghindari terjadinya konflik dalam pengambilan keputusan maka dibentuk suatu obyek koordinator yang berfungsi untuk menampung hasil pengambilan keputusan yang dilakukan oleh *charge* dan juga oleh mesin, yang kemudian akan meloloskan kandidat operasi yang cocok/selaras untuk dijadwalkan.

Berikut ini akan digambarkan proses pengambilan keputusan yang akan dilakukan oleh mesin cetak dan oleh *charge*. Misalkan dalam satu *event* terdapat dua *charge* yang harus dibuat cetakannya dan terdapat 3 mesin cetak yang menganggur. *Event* merupakan perubahan kondisi dalam produksi. Pada satu *event* tertentu obyek mesin cetak dan obyek *charge* akan melakukan proses pengambilan keputusan pemilihan kandidat. Obyek mesin cetak akan memilih kandidat *charge* sedangkan obyek *charge* akan memilih kandidat mesin cetak. Hasil pengambilan keputusan tersebut akan diberikan kepada obyek koordinator dan kemudian obyek koordinator akan meloloskan usulan kandidat yang cocok baik dari mesin cetak maupun dari *charge*. Proses pengambilan keputusan baru akan bergerak ke *event* selanjutnya apabila di *event* ini sudah tidak ada operasi yang dijadwalkan lagi.



Gambar 2 Pengambilan Keputusan Mesin Cetak dan *Charge*

Terlihat pada Gambar 2 bahwa yang terjadi di iterasi pertama adalah mesin cetak 1 memilih *charge* 1 dan *charge* 1 juga memilih mesin cetak 1 sehingga koordinator akan meloloskan *charge* 1 untuk dijadwalkan di mesin cetak 1. Sedangkan *charge* 2 tidak diloloskan oleh koordinator di iterasi pertama ini karena masih mengalami konflik, *charge* 2 memilih mesin cetak 3 dan mesin cetak 3 memilih *charge* 1. Oleh karena itu di iterasi kedua mesin yang boleh memilih adalah mesin

cetak 2 dan mesin cetak 3. Sedangkan *charge* yang boleh memilih adalah *charge* 2 karena pada iterasi pertama *charge* 2 belum dijadwalkan di mesin manapun juga. Setelah iterasi kedua dijalankan ternyata *charge* 2 memilih mesin cetak 3 dan mesin cetak 3 juga memilih *charge* 2 sehingga *charge* 2 dapat dijadwalkan di mesin cetak 3.

4. PERANCANGAN ALGORITMA PENJADWALAN PEMBUATAN CETAKAN

Algoritma-algoritma yang dirancang digambarkan dalam *activity diagram*. Pada penelitian ini terdapat 13 *activity diagram* yang terlibat. Pada makalah ini hanya akan dibahas kegunaan dari masing-masing diagram yang telah dibuat. Diagram-diagram tersebut adalah:

1. *Activity Diagram* Pencarian Nomor Pola
Digunakan untuk mencari nomor pola yang akan digunakan untuk membuat cetakan dari suatu *charge* tertentu. Dimisalkan terdapat suatu *charge* A1 dengan spesifikasi sebagai berikut: jenis material: NPR, jenis ring: 1, diameter: 85, maka *charge* A1 akan menggunakan nomor pola: E-34A.

2. *Activity Diagram* Perhitungan Jumlah *Piles* per Roda
Digunakan untuk menghitung berapa *piles* yang dibutuhkan untuk masing-masing roda dari suatu *charge* tertentu. Untuk membuat cetakan dari suatu *charge* tertentu harus dihitung berapa *piles* yang harus disiapkan (ditumpuk ke atas) untuk suatu *charge*. Dimisalkan dengan nomor pola E-34A maka diketahui *pieces/pola*: 8 dan *pieces/charge*: 3000, maka langkah-langkah perhitungan jumlah *piles* yaitu :

- a. Bagi *pieces/charge* dengan 26 (jumlah roda: 26 roda untuk tiap *charge*). $A = 3000/26 = 115.385$.
- b. Bagi A dengan *pieces/tanegata* untuk memperoleh jumlah *piles*. Jumlah *piles* = $A/8 = 115.385/8 = 14.42 \sim 15$.
- c. Tambahkan jumlah *piles* yang diperoleh dari langkah b dengan 1, karena dibutuhkan 1 buah *piles* sebagai dasar. Sehingga jumlah *piles* per roda yang dibutuhkan untuk *charge* A1 adalah $15 + 1 = 16$.

3. *Activity Diagram* Perhitungan Lamanya Waktu Pembuatan Cetakan

Digunakan untuk menghitung lamanya waktu yang dibutuhkan untuk membuat cetakan dari suatu *charge* tertentu. Untuk membuat cetakan ke dalam satu buah *piles* dibutuhkan waktu 30 detik. *Charge* A1 membutuhkan 16 *piles* per roda maka waktu yang dibutuhkan untuk membuat cetakan *charge* A1 adalah $30 \text{ detik} \times 16 \text{ piles} \times 26 \text{ roda} = 12480 \text{ detik} = 3 \text{ jam } 29 \text{ menit}$.

4. *Activity Diagram* Hari Libur (*Backward*)

Digunakan untuk memindahkan penjadwalan pembuatan cetakan yang jatuh tepat di hari libur ke satu hari sebelumnya (T-1).

5. *Activity Diagram* Pemilihan Kandidat Mesin Cetak oleh *Charge*

Digunakan untuk memilih kandidat mesin cetak yang kemudian akan diserahkan kepada koordinator. Apabila terdapat lebih dari satu alternatif mesin cetak yang dapat

dipilih oleh *charge* maka *charge* akan memilih mesin cetak yang memiliki waktu menganggur terbesar sebagai kandidat mesin cetak. Apabila waktu menganggur semua mesin cetak sama besar maka akan dilakukan pemilihan mesin cetak secara random. Kriteria pemilihan mesin ini bertujuan untuk meratakan pembebanan waktu pengerjaan di tiap mesin cetak.

6. *Activity Diagram* Pemilihan Kandidat *Charge* oleh Mesin Cetak

Digunakan untuk memilih kandidat *charge* yang kemudian akan diserahkan kepada koordinator. Apabila terdapat lebih dari satu alternatif *charge* yang dapat dipilih oleh mesin cetak maka mesin cetak akan memilih *charge* yang memiliki *due date* terbesar sebagai kandidat dengan tujuan agar *charge* dengan *due date* terbesar terjadwal terlebih dahulu. Tetapi apabila masih terdapat lebih dari satu alternatif *charge* yang memiliki *due date* terbesar maka mesin cetak akan memilih *charge* dengan waktu pembuatan cetakan terbesar sebagai kandidat *charge*. Apabila waktu pembuatan cetakan sama besar maka akan dilakukan pemilihan *charge* secara random.

7. *Activity Diagram* untuk Koordinator

Fungsi dari koordinator ini adalah untuk mencegah timbulnya konflik dalam proses pengambilan keputusan. Koordinator akan meloloskan usulan kandidat yang cocok di antara kandidat yang diperoleh dari mesin cetak dan kandidat yang diperoleh dari *charge*. Dan akan membatalkan usulan kandidat yang sepihak.

8. *Activity Diagram* Penjadwalan Pembuatan Cetakan

Activity diagram ini merupakan *activity diagram* utama yang mengatur penjadwalan pembuatan cetakan. *Activity diagram* ini menggunakan 3 *activity diagram* lainnya untuk mendukung penjadwalan pembuatan cetakan yaitu *activity diagram* pemilihan kandidat mesin cetak oleh *charge*, pemilihan kandidat *charge* oleh mesin cetak dan *activity diagram* untuk koordinator.

9. *Activity Diagram* Pengecekan Jadwal Pembuatan Cetakan

Digunakan untuk memeriksa apakah terdapat jadwal pembuatan cetakan yang tidak logis yaitu jadwal yang melewati (terdapat di sebelah kiri) *time now*. Apabila terdapat jadwal yang melewati *time now* maka fungsi pergeseran jadwal akan dijalankan.

10. *Activity Diagram* Pergeseran Jadwal Pembuatan Cetakan

Digunakan untuk melakukan pergeseran jadwal pembuatan cetakan yang lewat *time now* secara *forward*.

11. *Activity Diagram* Hari Libur (*Forward*)

Digunakan untuk memindahkan penjadwalan pembuatan cetakan yang jatuh tepat di hari libur ke satu hari setelahnya (T+1).

12. *Activity Diagram* Pergeseran *Charge*

Digunakan untuk menggeser *charge* yang menempel pada *charge* yang telah digeser sehingga tidak akan terjadi pengerjaan *charge* yang *overlap* di mesin cetak.

13. *Activity Diagram* Pengecekan Pola

Digunakan untuk mengetahui apakah terdapat pola yang tidak tersedia untuk pembuatan cetakan dari setiap *charge* akibat dari pergeseran yang telah dilakukan. Jadi apabila *charge* akan digeser, harus diperhatikan ketersediaan polanya. Apabila pola tidak tersedia maka *charge* tersebut harus digeser ke *event* di mana pola tersedia.

5. PENJADWALAN PEMBUATAN CETAKAN SESUAI DENGAN *DUE DATE* JADWAL PELEBURAN LOGAM

Elemen produksi yang berperan penting pada sistem penjadwalan ini adalah mesin pembuat cetakan dan *charge*. Masing-masing elemen produksi merupakan obyek yang dapat melakukan pengambilan keputusan secara mandiri untuk melakukan penjadwalan dirinya dengan dibantu oleh obyek koordinator agar tidak terjadi konflik dalam pengambilan keputusan. Pengambilan keputusan akan dilakukan secara berulang-ulang oleh obyek mesin cetak dan juga oleh *charge* dan proses pengambilan keputusan akan selesai apabila sudah tidak terdapat *charge* maupun mesin yang dapat dipilih lagi.

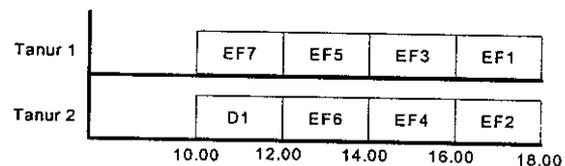
Sistem penjadwalan akan dilakukan per *event*. Pertama-tama sistem akan memilih *event* yang paling awal (yang paling jauh dengan waktu sekarang) yaitu *charge* yang dijadwalkan paling akhir di satu hari tertentu, untuk jam kerja normal pukul 16.00 dan untuk jam kerja *overtime* pukul 18.00. Kemudian proses pengambilan keputusan akan bergerak ke *event* selanjutnya (makin mendekati waktu sekarang) yaitu *event* yang paling dekat dengan *event* tersebut. Proses pengambilan keputusan akan dilakukan sampai tidak terdapat *event* yang lebih awal lagi. Pada penelitian ini akan dilakukan penjadwalan pembuatan cetakan dengan menggunakan dua pola dan juga tiga pola cetakan.

Dimisalkan pada tanggal 5 Juni 2002 terdapat pesanan masuk ke Seksi *Foundry* sebagai berikut:

Tabel 3 Daftar Pesanan

No. Lot	Jns. Mat	Jns. Ring	Dia.	Total Permintaan	Due Date Mesin
D	NPR-H	OIL	85	4000	6
E	NPR	1	85	10150	6
F	NPR	2	85	9000	6

Dari pesanan yang telah masuk tersebut diperoleh penjadwalan peleburan logamnya adalah :



Gambar 3 Peta *Gantt* Penjadwalan Peleburan Logam

Lot E dan F akan digabungkan ke dalam satu *batch* karena memiliki spesifikasi ring yang sama. Lot yang telah digabungkan ke dalam satu *batch* ini akan menggunakan nomor pola yang sama dalam pembuatan cetakannya. Dari-peta *Gantt* di atas maka pada Tabel 3 dapat dilihat data-data yang dibutuhkan untuk melakukan penjadwalan pembuatan cetakan.

Charge EF1- EF7 akan menggunakan pola nomor: E-34A, dengan *pieces/pola*: 8, *pieces/charge*: 3000. Sedangkan *charge* D1 akan menggunakan pola nomor: E-35A, dengan *pieces/pola*:8, *pieces/charge*: 2300.

Tabel 4 Data Input Penjadwalan Pembuatan Cetakan

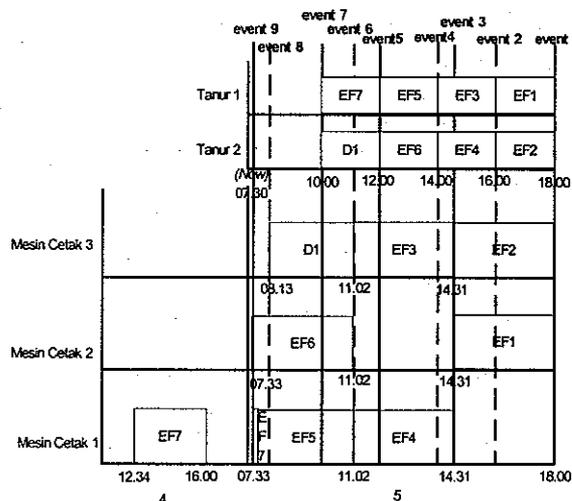
Charge	Jns Mat	Jns. Ring	Dia.	Tanur	DD Charge	Piles/roda	Wkt Cetak
EF1	NPR	1	85	1	18:00	16	3:29
EF2	NPR	1	85	2	18:00	16	3:29
EF3	NPR	1	85	1	16:00	16	3:29
EF4	NPR	1	85	2	16:00	16	3:29
EF5	NPR	1	85	1	14:00	16	3:29
EF6	NPR	1	85	2	14:00	16	3:29
EF7	NPR	1	85	1	12:00	16	3:29
D1	NPR-H	OIL	85	2	12:00	13	2:49

Dimisalkan yang menjadi *time now* penjadwalan ini adalah tanggal 4 Juni 2002.

Dari data pada Tabel 4 maka akan dilakukan penjadwalan pembuatan cetakan dengan menggunakan dua pola dan juga tiga pola cetakan.

5.1 Penjadwalan Pembuatan Cetakan Dengan Menggunakan Dua Pola Cetakan

Dengan menggunakan dua pola cetakan maka jadwal pembuatan cetakan yang akan dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Penjadwalan Pembuatan Cetakan dengan Dua Pola Sebelum Digeser

Berikut ini akan diberikan penjelasan penjadwalan pada *event* pertama dan kedua :

1. Event 1 ($t = \text{due date charge EF1 dan EF2} = \text{pukul 18.00}$)

Yang menjadi *event* pertama ini adalah *due date* dari *charge* yang terjadwal paling akhir. Pada *event* 1 ini terdapat 2 *charge* dan 3 mesin yang dapat menjadi alternatif karena *charge* belum dijadwalkan dan mesin cetak sedang menganggur. Pada *event* 1 ini dapat terjadi beberapa iterasi sebagai berikut :

Iterasi I :

Charge yang dapat menjadi alternatif yaitu : *charge* EF1 dan EF2.

Charge EF1 dan EF2 memiliki *due date* yang sama yaitu pukul 16.00 dan waktu pembuatan cetakan yang sama yaitu 3 jam 29 menit. Karena *due date* dan waktu

pembuatan cetakan kedua *charge* sama maka kedua *charge* memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh mesin cetak. Proses pemilihan akan dilakukan secara random.

Mesin yang dapat menjadi alternatif yaitu : M1, M2, dan M3 dengan waktu menganggur masing-masing = 0 jam. Karena semua mesin memiliki waktu menganggur yang sama besar maka ketiga mesin cetak akan memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh *charge*. Proses pemilihan akan dilakukan secara random.

Fungsi pengambilan keputusan oleh koordinator :

Koordinator akan meloloskan kandidat-kandidat yang cocok baik dari mesin cetak maupun dari *charge*. Pada iterasi I ini koordinator menerima kandidat :

Dari *charge* :

EF1 memilih M2

EF2 memilih M1

Dari mesin cetak :

M1 memilih EF1

M2 memilih EF1

M3 memilih EF2

Oleh karena itu koordinator akan meloloskan *charge* EF1 untuk dijadwalkan di M2.

Karena pada iterasi I masih terdapat alternatif *charge* yang belum terjadwal yaitu *charge* EF2 dan masih terdapat alternatif mesin yang dapat dipilih yaitu M1 dan M3 maka masih pada *event* yang sama akan dilakukan iterasi II.

Iterasi II :

Charge yang dapat menjadi alternatif yaitu: *charge* EF2. Mesin yang dapat menjadi alternatif yaitu : M1 dan M3, dengan waktu menganggur masing-masing mesin = 0 jam. Karena waktu menganggur kedua mesin cetak sama besar maka kedua mesin memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh *charge* EF2.

Kandidat mesin cetak oleh *charge* :

EF2 memilih M3

Kandidat *charge* oleh mesin cetak :

M1 memilih EF2

M3 memilih EF2

Fungsi pengambilan keputusan oleh koordinator :

Koordinator akan meloloskan kandidat-kandidat yang cocok baik dari mesin cetak maupun dari *charge*. Oleh karena itu koordinator akan meloloskan *charge* EF2 untuk dijadwalkan di M3.

Meskipun masih terdapat alternatif mesin yang menganggur pada *event* 1 ini yaitu M1 tetapi sudah tidak terdapat alternatif *charge* yang bisa dipilih karena *charge* EF1 dan EF2 telah dijadwalkan di mesin cetak yang bersesuaian. Oleh karena itu proses pengambilan keputusan akan bergerak ke *event* selanjutnya.

2. Event 2 ($t = \text{due date charge EF3 dan EF4} = \text{pukul 16.00}$)

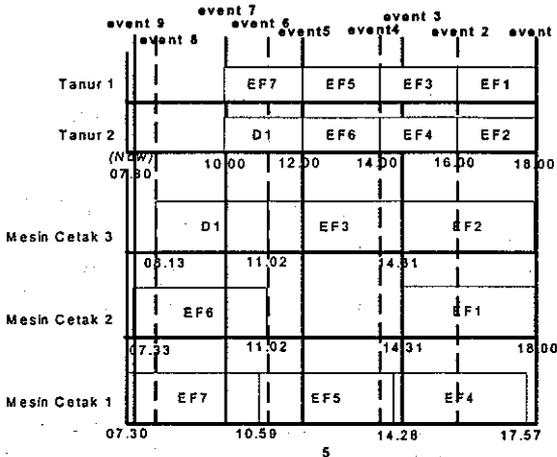
Pada *event* ini *charge* yang dapat menjadi alternatif yaitu *charge* EF3 dan EF4. *Charge* EF3 dan EF4 memiliki *due date* yang sama yaitu pukul 16.00 dan waktu pembuatan cetakan yang sama yaitu 3 jam 29 menit sehingga kedua

charge ini memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh mesin cetak. Proses pemilihan akan dilakukan secara random.

Mesin cetak yang dapat menjadi alternatif yaitu M1, karena hanya mesin cetak 1 yang sedang mengganggu pada event ini. Pada event ini, kedua pola yang sedang digunakan oleh charge EF1 dan EF2. Sehingga pada event ini obyek charge dan mesin cetak tidak dapat melakukan proses pengambilan keputusan untuk memilih kandidat. Oleh karena itu proses pengambilan keputusan akan bergerak ke event terdekat berikutnya.

Demikian cara penjadwalan pembuatan cetakan dilakukan seterusnya dan proses pengambilan keputusan akan berhenti sampai semua charge telah terjadwal di mesin cetak.

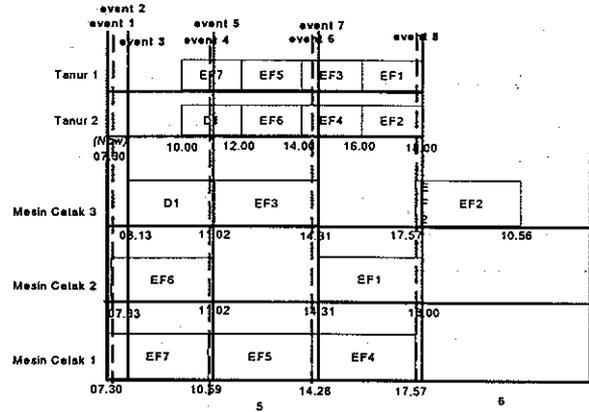
Karena terdapat jadwal yang lewat *time now* maka jadwal tersebut harus digeser ke sebelah kanan *time now*.



Gambar 5 Penjadwalan Pembuatan Cetakan dengan Dua Pola Setelah Digeser (Sebelum Cek Pola)

Proses pergeseran jadwal akan dilakukan secara *forward*. Oleh karena itu charge EF7 akan digeser ke sebelah kanan *time now* yaitu pukul 07.30 tanggal 5 Juni 2002. Karena di sebelah kanan charge EF7 terdapat charge EF5 dan charge EF5 overlap dengan charge EF7 maka charge EF5 akan digeser ke event di mana charge EF7 selesai dikerjakan yaitu pukul 10.59. Demikian pula halnya dengan charge EF4 yang terletak tepat di sebelah kanan charge EF5, karena charge EF4 overlap dengan charge EF5 maka charge EF4 juga akan digeser ke event di mana charge EF5 selesai dikerjakan yaitu pukul 14.28.

Setelah melakukan pergeseran charge yang jadwal pembuatannya melewati *time now* ke sebelah kanan *time now*, maka harus dilakukan pengecekan pola untuk mengetahui status ketersediaan pola. Pada Gambar 6 dapat dilihat hasil penjadwalan pembuatan cetakan dengan dua pola setelah dilakukan pengecekan pola.

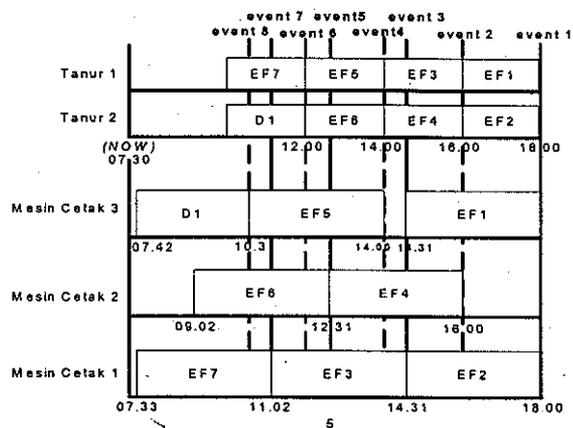


Gambar 6 Penjadwalan Pembuatan Cetakan dengan Dua Pola Setelah Digeser (Setelah Cek Pola)

Proses pengecekan pola akan dimulai dari event pertama yaitu pukul 07.30. Dari event pertama sampai event keenam, pola selalu tersedia sehingga tidak perlu dilakukan pergeseran charge. Tetapi pada event ketujuh terdapat dua alternatif charge yang akan menggunakan nomor pola yang sama yaitu charge EF1 dan EF2, padahal pada event ini pola yang tersedia hanya satu karena sedang digunakan oleh charge EF4. Oleh karena itu salah satu dari charge EF1 dan EF2 harus digeser. Karena charge EF2 terjadwal di mesin yang memiliki waktu mengganggu minimum maka charge EF2 akan digeser ke event di mana pola telah selesai digunakan yaitu pukul 17.57. Pembuatan cetakan untuk charge EF2 melebihi akhir hari kerja, oleh karena itu sisa pembuatan cetakan charge EF2 akan dipindahkan ke satu hari setelahnya.

5.2 Penjadwalan Pembuatan Cetakan dengan Menggunakan Tiga Pola Cetakan

Dengan menggunakan tiga pola cetakan maka jadwal pembuatan cetakan yang akan dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Penjadwalan Pembuatan Cetakan dengan Tiga Pola

1. Event 1 ($t = \text{due date charge EF1 dan EF2} = \text{pukul 18.00}$)

Yang menjadi event pertama ini adalah *due date* dari charge yang terjadwal paling akhir. Pada event 1 ini terdapat 2 charge dan 3 mesin yang dapat menjadi

alternatif karena *charge* belum dijadwalkan dan mesin cetak sedang menganggur. Pada *event* 1 ini dapat terjadi beberapa iterasi sebagai berikut :

Iterasi I :

Charge yang dapat menjadi alternatif yaitu: *charge* EF1 dan EF2. *Charge* EF1 dan EF2 memiliki *due date* yang sama yaitu pukul 16.00 dan waktu pembuatan cetakan yang sama yaitu 3 jam 29 menit sehingga kedua *charge* ini memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh mesin cetak. Karena *due date* dan waktu pembuatan cetakan kedua *charge* sama maka kedua *charge* memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh mesin cetak.

Mesin yang dapat menjadi alternatif yaitu: M1, M2, dan M3 dengan waktu menganggur masing-masing = 0 jam. Karena semua mesin memiliki waktu menganggur yang sama besar maka ketiga mesin cetak akan memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh *charge*.

Pada iterasi I ini koordinator menerima kandidat :

Dari *charge* :

EF1 memilih M2

EF2 memilih M1

Dari mesin cetak :

M1 memilih EF2

M2 memilih EF2

M3 memilih EF1

Oleh karena itu koordinator akan meloloskan *charge* EF2 untuk dijadwalkan di M1.

Karena pada iterasi I masih terdapat alternatif *charge* yang belum terjadwal dan masih terdapat alternatif mesin yang dapat dipilih maka masih pada *event* yang sama akan dilakukan iterasi II.

Iterasi II :

Charge yang dapat menjadi alternatif yaitu: *charge* EF1. Mesin yang dapat menjadi alternatif yaitu: M2, dan M3, dengan waktu menganggur masing-masing mesin = 0 jam. Karena waktu menganggur kedua mesin cetak sama besar maka kedua mesin memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh *charge* EF1.

Pada iterasi II ini koordinator menerima kandidat dari *charge* dan dari mesin cetak:

Dari *charge* :

EF1 memilih M3

Dari mesin cetak :

M2 memilih EF1

M3 memilih EF1

Oleh karena itu koordinator akan meloloskan *charge* EF1 untuk dijadwalkan di M3.

Meskipun masih terdapat alternatif mesin yang menganggur pada *event* 1 ini yaitu M2 tetapi sudah tidak terdapat alternatif *charge* yang bisa dipilih karena *charge* EF1 dan EF2 telah dijadwalkan di mesin cetak yang bersesuaian. Oleh karena itu proses pengambilan keputusan akan bergerak ke *event* selanjutnya.

2. Event 2 ($t = \text{due date charge EF3 dan EF4} = \text{pukul 16.00}$)

Pada *event* ini *charge* yang dapat menjadi alternatif yaitu *charge* EF3 dan EF4. *Charge* EF3 dan EF4 memiliki *due date* yang sama yaitu pukul 16.00 dan waktu pembuatan cetakan yang sama yaitu 3 jam 29 menit sehingga kedua *charge* ini memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh mesin cetak.

Mesin cetak yang dapat menjadi alternatif yaitu M2, karena hanya mesin cetak 2 yang sedang menganggur pada *event* ini.

Kandidat mesin cetak oleh *charge* :

EF3 memilih M2

EF4 memilih M2

Kandidat *charge* oleh mesin cetak :

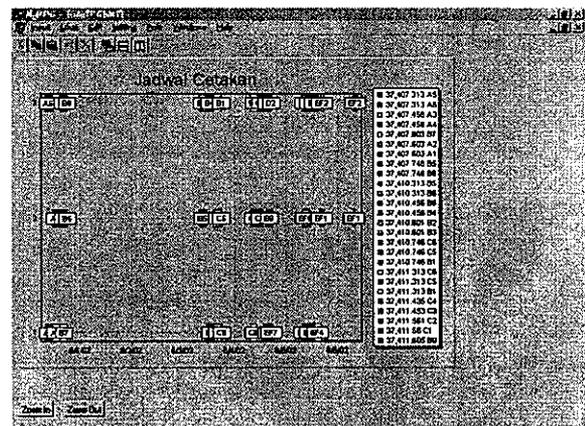
M2 memilih EF4

Fungsi pengambilan keputusan oleh koordinator :

Koordinator akan menerima kandidat dari *charge* dan mesin cetak. Oleh karena itu koordinator akan meloloskan EF4 untuk dijadwalkan pada M2.

Pada *event* ini masih terdapat *charge* yang belum terjadwal yaitu *charge* EF3, tetapi sudah tidak terdapat alternatif mesin yang dapat dipilih sehingga proses pengambilan keputusan akan bergerak ke *event* berikutnya.

Demikian cara penjadwalan pembuatan cetakan dilakukan seterusnya dan proses pengambilan keputusan akan berhenti sampai semua *charge* telah terjadwal di mesin cetak. Contoh tampilan yang diperlihatkan oleh *prototype* program aplikasi dapat dilihat pada Gambar 8. Pemodelan program aplikasi dilakukan dengan berdasarkan pada konsep pemodelan berorientasi obyek [4][5][6].



Gambar 8 Tampilan Peta *Gantt* pada Program Aplikasi

6. KESIMPULAN

Sistem penjadwalan pembuatan cetakan dirancang berdasarkan konsep Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri dengan memberikan otonomi pada *charge* dan mesin cetak sebagai elemen produksi untuk melakukan penjadwalan pembuatan cetakan.

Algoritma penjadwalan pembuatan cetakan dirancang untuk menambah kecerdasan setiap obyek

yang terdapat dalam sistem penjadwalan sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas sistem dalam menghadapi perubahan dinamis dan mampu menghasilkan penjadwalan yang baik.

Penambahan fungsi pergeseran jadwal secara *forward* untuk menyelesaikan jadwal yang tidak memenuhi batasan waktu dapat dilakukan dengan relatif mudah yaitu dengan menambahkan kemampuan pada masing-masing obyek untuk pelaksanaan pergeseran jadwal yang tidak memenuhi batasan waktu tersebut.

Jumlah pola minimum yang dibutuhkan untuk melaksanakan pembuatan cetakan adalah dua pola, dengan konsekuensi untuk kasus-kasus spesifik (seperti yang terdapat pada studi kasus 2) *due date charge* ada yang tidak terpenuhi.

Penjadwalan pembuatan cetakan dapat mengubah penjadwalan rencana cor yang telah ada karena kendala jumlah pola yang digunakan dalam melakukan penjadwalan pembuatan cetakan.

7. Pustaka

- [1] Iskandar Andrianto. *Perancangan Algoritma Penjadwalan Rencana Cor Dengan Meminimasi Jumlah Order Terlambat Dan Waktu Earliness Untuk Mendukung Konsep Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri*. Skripsi Jurusan Teknik Industri, FTI Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2001.
- [2] Martawirya Yatna Yuwana, *Sistem Produksi Terdistribusi Mandiri*. Modul Sistem Produksi, Departemen Teknik Mesin, FTI ITB, Bandung, 1998.
- [3] Martawirya Yatna Yuwana, *Pengenalan Fungsi Penjadwalan Kembali*. Modul Sistem Produksi, Departemen Teknik Mesin, FTI ITB, Bandung, 1998.
- [4] Booch Grady, *Object Oriented Analysis and Design with Applications, 2nd Edition*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc, Santa Clara, California, 1994.
- [5] Martawirya Yatna Yuwana, *Pengenalan Metode Pemrograman Berorientasi Obyek*. Modul Sistem Produksi, Departemen Teknik Mesin, FTI ITB, Bandung, 1998.
- [6] Martawirya Yatna Yuwana, *Teknik Pemodelan Berorientasi Obyek*. Modul Sistem Produksi, Departemen Teknik Mesin, FTI ITB, Bandung, 1998.