

JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM MODELLING USING PETRI NET FOR MAKING THE APPLICATION OF SCHEDULING PRODUCTION SIMULATION

Indah Puspitasari
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
indah.if2011@gmail.com

Sarngadi Palgunadi
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
palgunadi@uns.ac.id

Rini Anggrainingsih
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A Surakarta
rinianggra@gmail.com

ABSTRACT

The problems and challenges in the production process are how to manage the available machines and human resources optimally. In fact, many industries are not optimal in the production process due to unclear scheduling. As a solution, a production scheduling management is required to optimize scheduling using simulation. To create the scheduling simulation, it is necessary to notice workflow and obstacle that exist in the production system. Petri Net can be used to model the overall manufacturing process flow, to map the resource and to indicate potential conflicts in the production system. Four priority rules used in this production scheduling simulation to determine the most optimal results are FCFS, SPT, LPT and EDD. In this research, bread production process was modeled using 6 types of job and 9 process with the dynamic arrival time order. From the scheduling simulation FCFS has better results on the criterias of makespan, number of tardy jobs, mean tardiness and max tardiness while SPT is better on the mean flowtime criteria. Because the arrival orders time are not the same (dynamic), the rule other than FCFS requires sorting process that led to the delay before the execution process.

Keywords

Job shop scheduling problem, Petri net, scheduling system, Petri Net model, Priority rule.

1. Pendahuluan

Proses produksi merupakan suatu proses untuk menghasilkan barang dan jasa. Proses produksi melibatkan beberapa faktor antara lain waktu, tenaga SDM, bahan baku, mesin serta alur produksi. Terbatasnya sumber daya yang tersedia seperti bahan baku ataupun mesin maupun ketersediaan tenaga kerja menyebabkan harus dilakukannya optimalisasi pada segi penjadwalan. Penjadwalan dalam proses produksi merupakan salah satu faktor yang cukup penting, penjadwalan dapat menentukan waktu yang dibutuhkan untuk proses produksi serta memprediksi jumlah produksi yang akan

dihasilkan perusahaan dalam periode tertentu. Tujuan dari penjadwalan adalah untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada sehingga tujuan produksi secara keseluruhan dapat terpenuhi [1].

Pembuatan jadwal penggunaan mesin (*Job Shop Scheduling*) untuk menyelesaikan berbagai pekerjaan secara manual pada umumnya merupakan proses yang membutuhkan waktu lama. *Job Shop Scheduling Problem* (JSSP) secara umum merupakan sebuah masalah di mana terdapat beberapa mesin yang harus dipakai untuk menyelesaikan beberapa *job* yang terdiri dari beberapa operasi yang sudah diketahui jangka waktu penyelesaiannya. Masalah JSSP ini adalah bagaimana menyusun jadwal semua operasi dari semua *job* pada tiap mesin sehingga diperoleh tujuan pembuatan jadwal yang diinginkan.

Job shop scheduling problem terdiri dari n *job* dan setiap *job* memiliki rute mesin sendiri-sendiri dimana beberapa mesin tidak diperlukan dan beberapa mesin digunakan beberapa kali [2]. Penjadwalan yang tidak efektif akan menghasilkan tingkat penggunaan yang rendah dari kapasitas yang ada, fasilitas, tenaga kerja dan peralatan akan menunggu (*idle*) untuk waktu tertentu karena tidak ada jadwal. Sebagian akibatnya biaya produksi membengkak yang mana dapat menurunkan efektivitas dan daya saing perusahaan, meskipun kapasitas keseluruhan mungkin didesain agar biaya sumber daya minimal, penjadwalan yang tidak tepat dapat menyebabkan menurunnya tingkat pelayanan dan banyak hal lain secara tidak langsung [3].

Berdasarkan permasalahan tersebut maka salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menangani masalah penjadwalan adalah dengan membuat simulasi. Simulasi dibuat untuk melihat gambaran proses produksi yang terjadi. Analisis simulasi dapat dijadikan acuan dalam melakukan proses produksi yang sesungguhnya. Dari simulasi juga dapat ditentukan proses atau pekerjaan mana yang mungkin tidak dapat dilakukan atau sebaiknya tidak dilakukan.

Pembuatan simulasi sendiri tidaklah mudah, kompleksitas proses produksi menyebabkan sulitnya

membuat simulasi penjadwalan. Pembagian sumber daya, alur proses produksi, serta jumlah dan kapasitas mesin sering menyebabkan adanya deadlock pada sistem produksi. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah memodelkan proses produksi kedalam *Petri Net*.

Petri Net dapat digunakan untuk pemodelan sinkronisasi proses, peristiwa asynchronous, operasi bersamaan, serta konflik dan pembagian sumber daya. *Petri Net* adalah salah satu model untuk merepresentasikan sistem terdistribusi dan banyak digunakan diberbagai bidang yaitu manufaktur, kontrol proses, jaringan komputer, sistem antrian, sistem lalu lintas dan lain-lain [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak yang memanfaatkan *Petri Net* untuk menyelesaikan masalah penjadwalan job shop scheduling. Penelitian tersebut mencakup pengembangan model timed *Petri Net* [5][6] serta implementasinya pada contoh kasus produksi [7][8].

Berdasarkan penjelasan diatas, pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan pemodelan menggunakan *Petri Net* untuk kasus *Job Shop Scheduling* sebuah pabrik roti, untuk selanjutnya menggunakan hasil pemodelan tersebut untuk pembuatan simulasi. Diharapkan dari penelitian didapat kan hasil optimalisasi penjadwalan yang memadai

2. Job Shop Scheduling

Penjadwalan merupakan suatu proses pengaturan sumber daya untuk menyelesaikan tugas-tugas dengan melibatkan pekerjaan, sumber daya, dan waktu. Menurut [9] penjadwalan adalah alokasi sumber-sumber untuk melaksanakan sekumpulan tugas berdasarkan waktu. Pentingnya penjadwalan bagi perusahaan adalah [10] :

- Dengan penjadwalan secara efektif perusahaan menggunakan asetnya dengan efektif dan menghasilkan keuntungan menjadi lebih besar .
- Penjadwalan menambah kapasitas dan fleksibilitas yang terkait, memberikan waktu pengiriman yang lebih cepat.
- Keuntungan ketiga dari penjadwalan yang baik adalah keunggulan kompetitif dengan pengiriman yang dapat diandalkan.

Pada *Job Shop Scheduling*, operasi yang dilakukan setiap *job* seringkali berbeda rute/alur. Bedworth [11] mengidentifikasi beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggu
- Mengurangi sejumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumber daya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain.
- Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi *penalty cost* (biaya kelambatan).

- Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan.

Pada proses penjadwalan biasanya terdapat notasi yang diketahui di awal sebagai input dari proses penjadwalan biasanya menggunakan lowercase letter sebagai cirinya[9]. Notasi-notasi yang umum digunakan dalam penjadwalan terdapat pada penjelasan sebagai berikut [11]:

- j : subscript for jobs, $j = 1, \dots, n$.
- i : subscript for mesin, $i = 1, \dots, m$.
- Processing time* atau waktu proses (t_j)
- Setup time* atau waktu setup (s_{ji})
- Flow time* atau waktu tinggal (F_j)
- Arrive time* atau saat datang (a_j)
- Delivery date* atau saat kirim (del_j)
- Ready/release time* atau saat siap (r_j)
- Due date* atau batas waktu (d_j)
- Makespan (M)*
- Completion Time (C_j)* merupakan rentang waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *job j*.

2.1 Dispatching rule s

Dispatching rule s merupakan metode yang digunakan baik untuk kasus job shop scheduling static maupun dinamik [12] . Aturan prioritas memberikan panduan untuk urutan pekerjaan yang harus dilaksanakan [10]. Aturannya secara khusus bisa diterapkan untuk fasilitas yang berfokus pada proses. Aturan prioritas diterapkan untuk mengurangi waktu penyelesaian, jumlah *job* yang diproses dalam satu satuan waktu, dan keterlambatan proses karena ketersediaan sumber daya. Jenis *priority rule s* yang dapat dipakai antara lain [11]:

- First Come First Serve (FCFS)*
Urutan pengerjaan *job* ditetapkan berdasarkan urutan kedatangan
- Shortest Processing Time (SPT)*
Urutkan *job* berdasarkan waktu proses yang terkecil pada urutan pertama. (aturan ini akan menghasilkan WIP, *Flow Time* dan *lateness* yang terkecil)
- Longest Processing Time (SPT)*
Urutkan *job* berdasarkan waktu proses yang terkecil pada urutan pertama. (aturan ini akan menghasilkan WIP, *Flow Time* dan *Lateness* yang terkecil)
- Earliest Due Date (EDD)*
Urutkan *job* berdasarkan due date terkecil / paling cepat. (aturan ini akan mengurangi *lateness* dan *tardiness*)

2.2 Evaluasi Penjadwalan

Hasil penjadwalan yang sudah didapatkan dapat dievaluasi menggunakan beberapa kriteria. Kriteria kinerja penjadwalan *Job Scheduling* Proses memiliki

beberapa kriteria untuk menentukan baik buruknya hasil penjadwalan tersebut [9] diantaranya adalah:

a. Flow Time (Fj)

Flow Time (Fj) merupakan rentang waktu antara saat pekerjaan siap diproses hingga saat pekerjaan tersebut selesai dikerjakan. Persamaan untuk menghitung flowtime seperti pada persamaan 2.4.

$$F_j = C_j - r_j \tag{2.4}$$

Keterangan :

F_j = Flowtime job j

C_j = Completion Time job j

r_j = waktu job j siap diproduksi

Selain Flow Time, banyak yang melakukan evaluasi kinerja menggunakan mean Flow Time seperti pada persamaan 2.5.

$$Mean F = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j \tag{2.5}$$

Keterangan :

n = banyaknya job

b. Makespan (M)

Makespan (M) merupakan keseluruhan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan semua pekerjaan.

c. Lateness (Li)

Lateness (Li) merupakan waktu antara saat selesai dengan batas waktu penyelesaiannya (due dates). Lateness dapat bernilai negatif (Earliness) maupun positif (Tardiness). Earliness dan Tardiness dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$L_j = C_j - d_j \leq 0, Earliness (Ei) \tag{2.6}$$

$$L_j = C_j - d_j \geq 0, Tardiness (Ti)$$

Keterangan :

L_j = Lateness job j

C_j = Completion Time job j

d_j = daedline job j

d. Maximum Lateness

Maximum Lateness merupakan besarnya simpangan maksimum, atau selisih waktu penyelesaian seluruh job yang dijadwalkan terhadap batas waktu penyelesaian job-job tersebut (due date). Max Lateness didapat dengan persamaan 2.7.

$$L_{max} = \max \{L_j\} \tag{2.7}$$

e. Mean Tardiness

Mean Tardiness merupakan rata-rata keterlambatan seluruh job yang dijadwalkan. Mean Tardiness dihitung dengan persamaan 2.8.

$$Mean T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j \tag{2.8}$$

Keterangan :

T_j = tardiness job j

n = banyaknya job

f. Number of Tardy Job

Number of Tardy Job Menunjukkan kuantitas job atau jumlah job yang mengalami keterlambatan. Jumlah job yang terlambat dapat dihitung dengan persamaan 2.9.

$$N_t = \sum_{j=1}^n N_j \tag{2.9}$$

Dimana nilai n = banyaknya job

$N_t = 1$ jika $C_j \geq d_j$

$N_t = 0$ jika $C_j \leq d_j$

3. Petri Net

Pada penelitian ini Petri Net digunakan untuk membuat sebuah pemodelan dari alur proses penjadwalan. Petri net merupakan perangkat untuk pemodelan dan menganalisis sistem sehingga dapat diperoleh informasi tentang struktur, perilaku dinamik dari sistem dan media-media yang di modelkan [13].

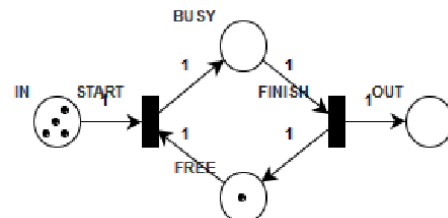
Sebuah Timed Petri Net terdiri dari TPN = (P, T, I, O, TS, D) yang memenuhi persyaratan sebagai berikut [14]:

- P adalah himpunan terbatas place
- T adalah himpunan transisi.
- $I \in T \rightarrow P$ (P) adalah fungsi yang mendefinisikan set input place dari masing-masing transisi.
- $O \in T \rightarrow P$ (P) adalah fungsi yang mendefinisikan set output place dari setiap transisi.
- TS adalah waktu yang ditetapkan.
- $D \in T \rightarrow TS$ adalah fungsi yang mendefinisikan firing delay masing-masing transisi

Dalam penelitian ini untuk memodelkan sistem penjadwalan dengan menggunakan Petri Net, interpretasi untuk place, transisi, dan token adalah sebagai berikut:

- a. Place merepresentasikan status resource atau operasi.
- b. Token pada place mengartikan bahwa resource tersedia. Jika place merepresentasikan operasi, maka token didalamnya menunjukkan operasi yang dilakukan atau dapat disebut job, dan jika tidak ada token mengartikan operasi tidak sedang dilakukan.
- c. Transisi merepresentasikan mulai atau selesainya suatu event atau penyelesaian suatu proses operasi.

Terdapat beberapa pemodelan pada mesin antara lain pada mesin yang hanya dapat digunakan satu proses job pada satu waktu dan mesin yang dapat digunakan untuk beberapa proses job pada satu waktu [15]. Penggambaran mesin pada Petri Net ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Petri Net untuk memodelkan suatu mesin [7].

4. Metodologi

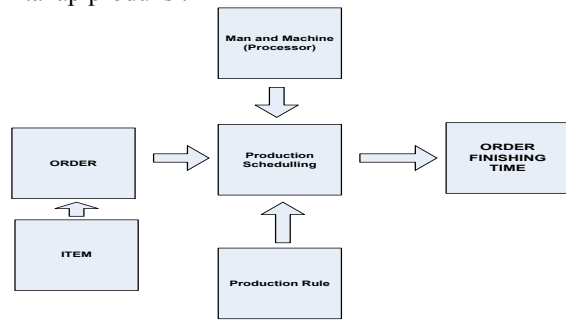
Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dengan tahap pengumpulan data, penentuan aturan produksi, kemudian pemodelan penjadwalan menggunakan *Petri Net*, validasi *Petri Net*, pemodelan data, terakhir implementasi serta analisis hasil penjadwalan.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data produksi yang didapatkan adalah data resources, alur produksi, serta waktu produksi masing-masing job. Data yang sudah didapat sebagai berikut:

- Pabrik beroperasi setiap hari selama 24 jam.
- Pada satu *order* bisa terdapat beberapa jenis roti (item) yang dipesan sekaligus. Penyelesaian proses *order* berdasarkan pada schema FTPO (*Finish Production Time of Order*) seperti pada Gambar 5.1 (Palgunadi, 2013). *Finish production time* terpenuhi ketika semua item-item yang diorder sudah melewati tahap produksi.



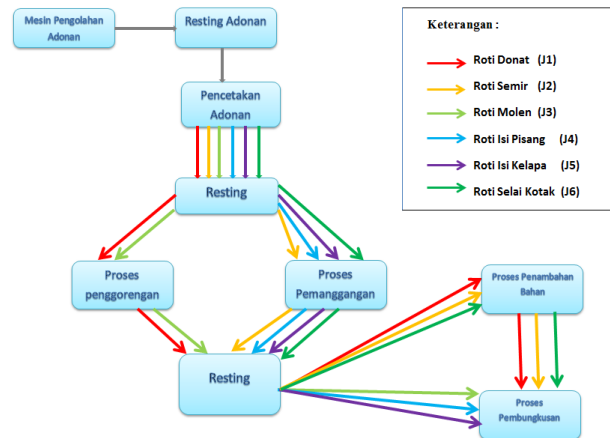
Gambar 5.1 Schema FTPO (*Finish Production Time of Order*) [16]

- Pabrik setiap harinya membuat 6 jenis roti sehingga jumlah *job* = 6 dengan adonan dasar yang sama. Untuk lebih jelasnya, jenis roti yang dibuat ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Jenis roti yang diproduksi

Jenis Roti	Notasi
Roti Donat	J ₁
Roti Semir	J ₂
Roti Molen	J ₃
Roti Isi Pisang	J ₄
Roti Isi Kelapa	J ₅
Roti Selai Kotak	J ₆

- Proses pembuatan masing-masing roti memiliki tahapan yang berbeda meski awalnya memiliki adonan yang sama. Skema pembuatan roti secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Diagram jalannya produksi

Pada *job shop scheduling* setiap proses yang harus dilewati dapat dikatakan sebagai mesin (*machines*). Berdasarkan diagram diatas maka untuk daftar mesin-mesin yang ada dalam proses produksi roti dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Daftar proses produksi dan notasinya

Nama Proses	Notasi	Jumlah (Quantity)
Pencampuran Adonan	M ₁	2
Resting Adonan (1)	M ₂	-
Pencetakan adonan	M ₃	2
Resting Adonan (2)	M ₄	-
Penggorengan	M ₅	2
Pemanggangan	M ₆	2
Resting Adonan (3)	M ₇	-
Penambahan bahan	M ₈	4
Pembungkusan	M ₉	

- Proses produksi masing-masing jenis roti memiliki interval waktu yang berbeda-beda. Detail waktu produksi masing-masing job dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5.3 Waktu proses produksi per-job tiap mesin (dalam detik)

Mesin Job	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
J1	1800	300	4	10800	-	120/45	600	10	20
J2	1800	300	4	10800	600/180	-	600	15	20
J3	1800	300	10	10800	-	-	600	-	20
J4	1800	300	10	10800	600/160	120/45	600	-	20
J5	1800	300	10	10800	600/160	-	600	-	20
J6	1800	300	4	10800	600/180	-	600	15	20

5.2 Penentuan Aturan Produksi (Production Rule)

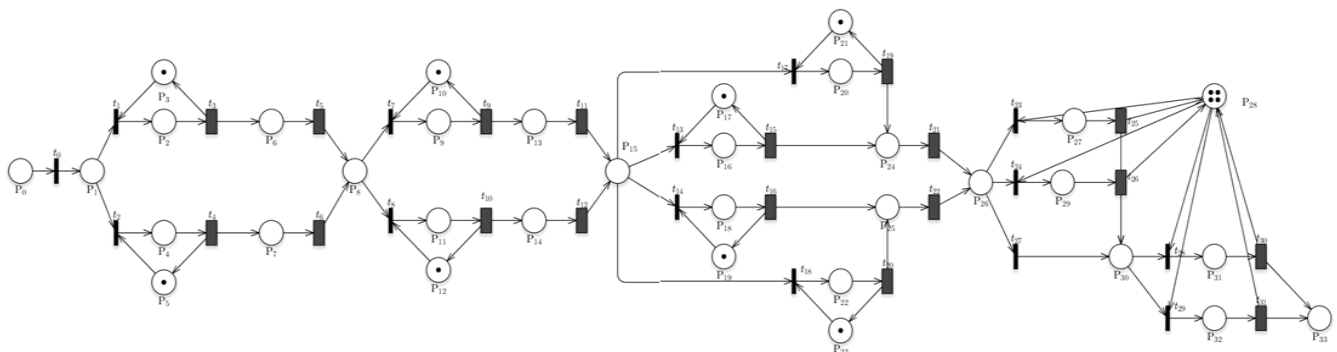
Penentuan aturan produksi dalam implementasi kasus job shop scheduling sangatlah penting, karena aturan produksi suatu pabrik akan berbeda dengan pabrik lainnya. Asumsi merupakan ketentuan-ketentuan yang dapat ditambahkan untuk mempermudah serta membatasi pengimplementasian proses penjadwalan. Dalam simulasi ini sistem akan ditetapkan sebagai berikut:

- a. Sebuah pekerjaan tepat mengunjungi satu mesin sekali.
- b. Tiap mesin hanya dapat memproses sebuah operasi pada satu waktu dan selalu siap setiap waktu tanpa adanya gangguan kerusakan atau dalam perbaikan.
- c. Operasi tidak dapat diinterupsi, dengan kata lain setelah operasi berlangsung, operasi itu harus diselesaikan sebelum operasi yang lain diproses pada mesin yang sama.

- d. Setelah sebuah operasi selesai diproses pada suatu mesin, akan langsung ditransfer ke mesin berikutnya secepatnya dan waktu transfer diabaikan.
- e. Setiap operasi mempunyai jenis kegiatan tertentu, dikerjakan mesin tertentu dan waktu proses yang tertentu pula.
- f. Sumber daya manusia dan mesin ditetapkan akan tersedia selama 24 jam per hari selama 7 hari per minggu (asumsi waktu tak terbatas).
- g. Tidak ada mesin yang rusak atau berhenti bekerja.
- h. Proses produksi berdasarkan *order* dan dilakukan secara berurutan. Misalkan *order* A, maka $A = \{J1, J2, \dots, J6\}$.

5.2 Pemodelan Bisnis Proses dengan Petri Net

Berdasarkan *production rule* yang ada dibuat model *Petri Net* untuk menggambarkan skema atau alur proses produksi secara keseluruhan. Pemodelan *Petri Net* ini dilakukan dengan memimplementasikan penelitian sebelumnya [14]. Pemodelan yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pemodelan *Petri Net* untuk proses produksi

5.3 Validasi Pemodelan Bisnis Proses

Validasi dilakukan untuk melihat apakah pemodelan *Petri Net* untuk proses produksi yang dibuat sudah baik dan mampu digunakan sebagai acuan untuk implementasi kedalam program. Analisa yang dilakukan adalah liveness, boundness dan struktural analisis. Analisis dilakukan dengan dua metode yaitu dengan mensimulasikan token secara manual, dan dengan

menggunakan tambahan aplikasi yang menyediakan fungsi analisis *Petri Net* yaitu WOPED. Hasil Validasi tidak soundness, tetapi sudah memenuhi syarat boundness dan liveness. Model tidak dapat soundness hal ini disebabkan karena tidak memenuhi kriteria soundness yaitu :

- 1. Untuk setiap token yang dimasukkan ke dalam *source place* (state awal/initial state), satu (dan hanya satu)

token yang akan muncul pada *sink place (final state/ state akhir)*.

2. Ketika token berada pada *sink place*, semua *place* yang lain akan kosong.

Pada proses penjadwalan setiap job diinisialisasikan sebagai token sehingga token yang dimasukkan pada input place tidak hanya satu token, maka model tidak memenuhi kriteria pertama. Pada proses penjadwalan apabila satu job yang diinisialisasikan sebagai token telah sampai pada sink place, place lain tidak akan kosong karena akan ada proses lain yang akan masuk ataupun sedang dalam proses sehingga tidak memenuhi kriteria kedua. Hasil analisis dengan menggunakan aplikasi diatas tetap dianggap benar, karena dalam pembuatan *Petri Net* untuk penjadwalan yang diutamakan adalah tidak adanya deadlock [17].

5.5 Pembuatan Data Model

Pembuatan data model dilakukan dengan menggunakan pemodelan *Petri Net* yang telah dibuat, untuk mengetahui alur serta variabel2 yang dibutuhkan. Pada proses produksi setiap mesin memiliki kebutuhan atau requirement masing-masing. Berdasarkan data yang ada, lamanya waktu pengerjaan tergantung pada banyaknya item yang dipesan dikalikan waktu pengerjaan setiap buahnya.

Pada aplikasi *Petri Net* waktu yang dapat ditambahkan bersifat statis, belum mampu mengangani penggunaan waktu yang berbeda seperti data yang didapatkan sehingga harus dibuat sebuah aplikasi yang dapat menangani masalah tersebut. Pada aplikasi diberikan penambahan fungsi perhitungan waktu berdasarkan *rule* produksi serta kondisi asli dilapangan sesuai data yang telah dikumpulkan. Berikut detail masing-masing fungsi perhitungan waktu pada tiap mesin.

- a. Mesin 1 (M1)

Kapasitas mesin adalah 1200, sehingga pada M1 jika *job1* hingga *job6* totalnya kurang dari 1200 maka dapat dikerjakan dengan 1 kali proses pengolahan. Waktu pemrosesannya yaitu $t_{j1} = 1800$ s.

- b. Mesin 2 (M2)

Waktu pemrosesan M2 yaitu $t_{j2} = 600$ s.

- c. Mesin 3 (M3)

Total waktu pengerjaan didalam M3 tiap-tiap *job* yaitu menggunakan persamaan 5.1.

$$\sum t_{j3} = \sum \text{item job } j \times t_{j3} \quad (5.1)$$

Keterangan :

$\sum t_{j3}$ = jumlah total waktu pengerjaan mesin 3

$t_{j3} = \{4, 10, 10, 10, 10, 4\}$; $j = 1,2,3,\dots, 6$

- d. Mesin 4 (M4)

Waktu pemrosesannya yaitu $t_{j4} = 10800$ s.

- e. Mesin 5 (M5)

Total waktu pengerjaan didalam M5 tiap-tiap *job* yaitu menggunakan persamaan 5.2.

$$\sum t_{j5} = \left[\frac{\sum \text{item job } j}{t_{j5}} \right] \times 600 \quad (5.2)$$

Keterangan :

$\sum t_{j5}$ = jumlah total waktu pengerjaan mesin 5

$t_{j5} = \{180, 160, 160, 180\}$ dengan nilai $j = 2,4,5,6$

- f. Mesin 6 (M6)

Total waktu pengerjaan didalam M6 tiap-tiap *job* yaitu menggunakan persamaan 5.3.

$$\sum t_{j6} = \left[\frac{\sum \text{item job } j}{t_{j6}} \right] \times 120 \quad (5.3)$$

Keterangan :

$\sum t_{j3}$ = jumlah total waktu pengerjaan mesin 6

$t_{j3} = \{45\}$ dengan nilai $j = 1,3$

- g. Mesin 7 (M7)

Waktu pemrosesan M7 yaitu $t_{j6} = 600$ s.

- h. Mesin 8 (M8)

Total waktu pengerjaan didalam M8 tiap-tiap *job* yaitu menggunakan persamaan 5.4.

$$\sum t_{j8} = \sum \text{item job } j \times t_{j8} \quad (5.4)$$

Keterangan :

$\sum t_{j8}$ = jumlah total waktu pengerjaan mesin 8

$t_{j3} = \{10, 15, 15\}$ dengan nilai $j = 1,2, 6$

- i. Mesin 9 (M9)

Total waktu pengerjaan didalam M9 tiap-tiap *job* yaitu menggunakan persamaan 4.5.

$$\sum t_{j9} = \sum \text{item job } j \times t_{j9} \quad (5.5)$$

Keterangan :

$\sum t_{j9}$ = jumlah total waktu pengerjaan mesin 9

$t_{j9} = \{20\}$ dengan nilai $j = 1,2,3,\dots, 6$

5.6 Implementasi

Simulasi dilakukan dengan aplikasi yang telah dibuat berdasarkan skenario *Petri Net* yang telah dibuat. Data yang digunakan untuk pengujian menggunakan sampel data order yang bersifat random. Data yang digunakan akan bersifat dinamik karena waktu kedatangan order tidak akan sama. Pada implementasi yang dilakukan terdapat tiga menu utama, yaitu pengolahan data, simulasi dan analisis hasil simulasi. Untuk pengujian implementasi digunakan data random, tampilan untuk pengolahan data ditampilkan pada Gambar 5.4.

No	Tanggal Order	Tanggal Pengambilan	Roti Donat	Roti Semir	Roti Molen	Roti Isi Pisang	Roti Isi Kelapa	Roti Selai Kotak	Status	Pilihan
1	2016-03-14 07:03:00	2016-03-14 13:00:00	275	150	0	330	128	0	Undone	 
2	2016-03-14 07:30:00	2016-03-15 08:00:00	231	0	274	103	75	86	Undone	 
3	2016-03-14 08:07:00	2016-03-14 12:05:00	210	0	0	247	233	170	Undone	 
4	2016-03-14 08:11:00	2016-03-14 15:15:00	0	146	279	266	310	0	Undone	 
5	2016-03-14 08:15:00	2016-03-15 14:10:00	0	305	144	0	0	188	Undone	 
6	2016-03-14 09:00:00	2016-03-16 08:00:00	145	80	0	231	134	0	Undone	 
7	2016-03-14 09:15:00	2016-03-15 18:08:00	281	230	110	100	75	0	Undone	 
8	2016-03-14 09:30:00	2016-03-16 08:10:00	90	0	110	108	0	0	Undone	 
9	2016-03-14 09:30:00	2016-03-17 08:00:00	120	135	110	0	0	95	Undone	 
10	2016-03-14 09:40:00	2016-03-15 15:00:00	145	116	190	120	0	0	Undone	 

Gambar 5.4. Tampilan untuk pengolahan data pada aplikasi

Dengan data pada yang ada pada Gambar 5.4 selanjutnya dilakukan simulasi penjadwalan menggunakan aplikasi yang telah dibuat. Pada implementasi yang dilakukan, akan ditampilkan hasil penjadwalan secara keseluruhan dengan menggunakan empat *rule* metode metode heuristik *rule* untuk urutan pemrosesan yaitu FCFS, SPT, LPT, dan EDD. Hasil simulasi untuk *rule* FCFS ditunjukkan pada Gambar 5.5, *rule* SPT ditunjukkan Gambar 5.6, *rule* LPT ditunjukkan Gambar 5.7, dan *rule* EDD ditunjukkan pada gambar 5.8. Pada aplikasi juga akan ada evaluasi dari keempat *rule* yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 .

SIMULASI FCFS

order	tanggal pemesanan	tanggal pengambilan	selesai pengerjaan	keterlambatan
1	2016-03-14 07:03:00	2016-03-14 13:00:00	2016-03-14 12:38:50	00:00:00
2	2016-03-14 07:30:00	2016-03-15 08:00:00	2016-03-14 14:53:43	00:00:00
3	2016-03-14 08:07:00	2016-03-14 12:05:00	2016-03-14 17:12:43	05:07:43
4	2016-03-14 08:11:00	2016-03-14 15:15:00	2016-03-14 20:29:03	05:14:03
5	2016-03-14 08:15:00	2016-03-15 14:10:00	2016-03-14 22:04:30	00:00:00
6	2016-03-14 09:00:00	2016-03-16 08:00:00	2016-03-14 23:22:23	00:00:00
7	2016-03-14 09:15:00	2016-03-15 18:08:00	2016-03-15 01:40:43	00:00:00
8	2016-03-14 09:30:00	2016-03-16 08:10:00	2016-03-15 02:28:50	00:00:00
9	2016-03-14 09:30:00	2016-03-17 08:00:00	2016-03-15 03:45:30	00:00:00
10	2016-03-14 09:40:00	2016-03-15 15:00:00	2016-03-15 05:25:43	00:00:00

Gambar 5.5 Hasil penjadwalan menggunakan FCFS *rule*

SIMULASI SPT

order	tanggal pemesanan	tanggal pengambilan	selesai pengerjaan	keterlambatan
8	2016-03-14 09:30:00	2016-03-16 08:10:00	2016-03-14 13:11:00	00:00:00
5	2016-03-14 08:15:00	2016-03-15 14:10:00	2016-03-14 15:33:32	00:00:00
9	2016-03-14 09:30:00	2016-03-17 08:00:00	2016-03-14 16:27:59	00:00:00
10	2016-03-14 09:40:00	2016-03-15 15:00:00	2016-03-14 18:01:52	00:00:00
6	2016-03-14 09:00:00	2016-03-16 08:00:00	2016-03-14 19:45:32	00:00:00
3	2016-03-14 08:07:00	2016-03-14 12:05:00	2016-03-14 22:04:32	09:59:32
1	2016-03-14 07:03:00	2016-03-14 13:00:00	2016-03-15 00:44:32	11:44:32
4	2016-03-14 08:11:00	2016-03-14 15:15:00	2016-03-15 04:00:52	12:45:52
2	2016-03-14 07:30:00	2016-03-15 08:00:00	2016-03-15 05:28:52	00:00:00
7	2016-03-14 09:15:00	2016-03-15 18:08:00	2016-03-15 07:42:39	00:00:00

Gambar 5.6 Hasil penjadwalan menggunakan SPT rule

SIMULASI LPT

order	tanggal pemesanan	tanggal pengambilan	selesai pengerjaan	keterlambatan
7	2016-03-14 09:15:00	2016-03-15 18:08:00	2016-03-14 15:23:57	00:00:00
2	2016-03-14 07:30:00	2016-03-15 08:00:00	2016-03-14 17:25:03	00:00:00
4	2016-03-14 08:11:00	2016-03-14 15:15:00	2016-03-14 20:41:23	05:26:23
1	2016-03-14 07:03:00	2016-03-14 13:00:00	2016-03-14 22:59:17	09:59:17
3	2016-03-14 08:07:00	2016-03-14 12:05:00	2016-03-15 01:18:17	13:13:17
6	2016-03-14 09:00:00	2016-03-16 08:00:00	2016-03-15 02:47:03	00:00:00
10	2016-03-14 09:40:00	2016-03-15 15:00:00	2016-03-15 04:21:17	00:00:00
9	2016-03-14 09:30:00	2016-03-17 08:00:00	2016-03-15 05:37:57	00:00:00
5	2016-03-14 08:15:00	2016-03-15 14:10:00	2016-03-15 07:28:37	00:00:00
8	2016-03-14 09:30:00	2016-03-16 08:10:00	2016-03-15 08:10:03	00:00:00

Gambar 5.7 Hasil penjadwalan menggunakan LPT rule

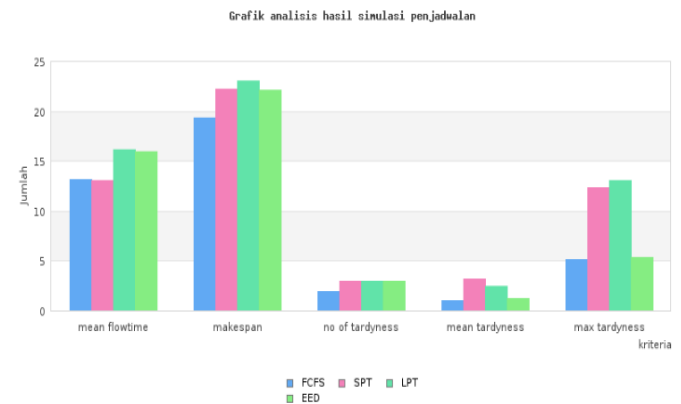
SIMULASI EDD

order	tanggal pemesanan	tanggal pengambilan	selesai pengerjaan	keterlambatan
3	2016-03-14 08:07:00	2016-03-14 12:05:00	2016-03-14 15:06:00	03:01:00
1	2016-03-14 07:03:00	2016-03-14 13:00:00	2016-03-14 17:46:00	04:46:00
4	2016-03-14 08:11:00	2016-03-14 15:15:00	2016-03-14 21:02:20	05:47:20
2	2016-03-14 07:30:00	2016-03-15 08:00:00	2016-03-14 22:30:20	00:00:00
5	2016-03-14 08:15:00	2016-03-15 14:10:00	2016-03-15 00:21:00	00:00:00
10	2016-03-14 09:40:00	2016-03-15 15:00:00	2016-03-15 01:48:56	00:00:00
7	2016-03-14 09:15:00	2016-03-15 18:08:00	2016-03-15 04:07:16	00:00:00
6	2016-03-14 09:00:00	2016-03-16 08:00:00	2016-03-15 05:50:56	00:00:00
8	2016-03-14 09:30:00	2016-03-16 08:10:00	2016-03-15 06:26:56	00:00:00
9	2016-03-14 09:30:00	2016-03-17 08:00:00	2016-03-15 07:43:36	00:00:00

Gambar 5.8 Hasil penjadwalan menggunakan EDD rule

ANALISIS SIMULASI

kriteria	FCFS	SPT	LPT	EDD
mean flowtime	13:24:05	13:18:02	16:25:11	16:04:14
makespan	19:45:43	22:27:39	23:13:37	22:13:36
no of tardyness	2	3	3	3
mean tardyness	01:02:10	03:26:59	02:51:53	01:21:26
max tardyness	05:14:03	12:45:52	13:13:17	05:47:20



Gambar 5.9 Data Hasil evaluasi penjadwalan beserta grafik perbandingan masing-masing rule

5.7 Analisa simulasi

Pada implementasi aplikasi, hasil penjadwalan akan ditampilkan secara keseluruhan menggunakan keempat rule yang digunakan. Pada aplikasi yang dibuat telah disediakan juga fungsi analisis untuk mengevaluasi hasil penjadwalan keempat rule. Analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja priority rule yang digunakan terhadap hasil penjadwalan yang didapatkan.

Hasil penjadwalan yang dievaluasi dengan beberapa kriteria parameter meliputi analisis rata-rata flowtime (mean flowtime), makespan, jumlah order yang terlambat (number of tardiness), rata-rata keterlambatan (mean tardiness) serta maksimal keterlambatan. Hasil evaluasi yang didapatkan ditampilkan pada Gambar 5.4.

Berdasarkan gambar grafik tersebut dapat dilihat bahwa FCFS memiliki kinerja paling baik daripada rule lainnya. Pada teorinya rule SPT merupakan rule yang meminimalkan makespan dan flowtime. Akan tetapi pada penelitian ini SPT tidak cukup baik karena waktu kedatangan order tidak bersamaan (dinamik) sehingga menyebabkan adanya delay sebelum pengerjaan dimulai yang menyebabkan nilai makespan dan flowtimenya lebih tinggi, SPT dapat dimaksimalkan jika digunakan pada order yang waktu kedatangan ordernya bersamaan atau tanpa memperhitungkan waktu order. Begitu pula pada

rule LPT. Untuk *rule* EDD nilai mean tardiness dan max tardiness paling kecil sesuai dengan teori *rule* nya.

Akan tetapi pada aplikasi tidak akan dilakukan proses perekomendasi. Hasil penjadwalan dan evaluasi akan ditampilkan secara keseluruhan pada semua hasil *rule*. Untuk pemilihan penjadwalan mana yang akan dipakai diserahkan kepada user karena setiap *priority rule* memiliki kelebihan masing-masing dan kemungkinan hasil evaluasi yang berbeda pada data order yang berbeda bisa saja terjadi.

6. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan telah berhasil dibangun aplikasi penjadwalan proses produksi di perusahaan roti CV. Pantas berdasarkan pemodelan *Petri Net*. Aplikasi yang dibangun berhasil menampilkan hasil penjadwalan dengan alternatif pilihan *priority rule* yang dapat digunakan oleh user dan dapat memberikan informasi tentang lamanya waktu pemrosesan serta keterlambatan yang mungkin terjadi.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Narasimhan, S. L. (1995). *Production Planning and Inventory Control*. Prentice-Hall New Jersey.
- [2] Moghaddas, R. Houshmand, M. (2008). Job-Shop Scheduling Problem With Sequence Dependent Setup Times. *Proceedings of The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*.
- [3] Baroto, Teguh. (2002). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- [4] Wang, Jiacun. *Timed Petri Net : theory And Application*. 2012. Kluwer Academic Publisher.
- [5] Hussin, Mowafak Hassan Abdul. (2014). Petri Net approach to simulate and control of Flexible Manufacturing Systems. *International Journal on Software Engineering*. Volume 119 – No.22, June 2015
- [6] Vinod Das, Bindu Vinod. (2013). Workflow balancing in a manufacturing unit using Petri Net .*International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*
- [7] Anand ,Mullya Satish. Sindhe ,Santosh Krishnaji. (2013). Modeling and Simulation of Job Shop Scheduling Using Petri- Net. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*
- [8] Gradisar, Dejan. Music, Gasper. (2010). Production-process modelling based on production-management data: a Petri net approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*
- [9] Baker, Kenneth R. Trietsch. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Render, Barry. Heizer, Jay H. (2013). *Operations Management*. Ney Jersey, Prentice Hall Inc.
- [11] Bedworth, D. D., Bailey, J.E. (1987). *Integrated Production Control Systems : Management, Analysis, Design*, 2 ed. John Wiley & Sons, Inc: New York.
- [13] Peterson, James L. (1981). *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*. Ney Jersey, Prentice Hall Inc.
- [14] Aalst, W. V. (1996). *Petri Net based Scheduling*. Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology.
- [15] Aalst, W. v., dan Hee, K. v. (2002). *Workflow Management: Models, Methods, and Systems*. London: The MIT Press.
- [16] Palgunadi, Sarngadi. (2013). New algorithms to predict the finish production time of orders (FPTO) in a furniture production system. *Jurnal Informatika IT Smart Vol 3 ISSN 2301-7201*.