

PENJADWALAN NON-DELAY MELALUI MESIN MAJEMUK UNTUK MEMINIMUMKAN MAKESPAN

Johan Oscar Ong
Program Studi Teknik Industri
President University
Jl. Ki Hajar Dewantara Kota Jababeka, Cikarang, Bekasi – Indonesia 17550
Email: johanoscarong@gmail.com

ABSTRAK

Di dalam sebuah perusahaan, penjadwalan produksi mempunyai peranan yang cukup penting. Salah satunya adalah mengetahui kapan waktu harus memulai suatu pekerjaan dan kapan waktu mengakhirinya. Penjadwalan yang berjalan dengan baik akan memberikan dampak positif, yaitu meminimumkan biaya operasi dan waktu pengiriman, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. PT. XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang Flexible Packaging dan menggunakan sistem job shop pada operasi penjadwalannya. Permasalahan yang kadang terjadi disini adalah permintaan dari konsumen yang banyak menyebabkan penumpukan pekerjaan atau barang sehingga membentuk antrian panjang yang tidak dapat diselesaikan secara optimal. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah observasi perusahaan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, asumsi, studi literatur, pengumpulan dan pengolahan data, analisis, kemudian tahap terakhir adalah kesimpulan dan saran. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah algoritma Non-Delay dengan menggunakan mesin majemuk sesuai dengan keadaan kebanyakan perusahaan saat ini. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode penjadwalan dengan menggunakan algoritma non-delay untuk mesin majemuk lebih optimal daripada metode yang telah digunakan oleh perusahaan saat ini. Dengan metode ini, untuk memproduksi 48 job dengan 33 mesin membutuhkan makespan 373 jam kerja dengan flow time 6,711 jam dan tardiness 118 jam.

Kata Kunci: *Penjadwalan produksi, non-delay scheduling, mesin majemuk, makespan, flow time, tardiness.*

ABSTRACT

In a company, production scheduling has an important role. One of many role is knowing when a job will be started and when it will be finished. Scheduling that goes well will have a positive impact, i.e. minimize operating costs and delivery time, which can increase the customer satisfaction. PT. XYZ is a manufacturing company engaged in the field of Flexible Packaging and uses the job shop scheduling for their operating system. The problem that sometimes happens here is, a lot of demand from consumers led to accumulation of work or goods so as to form a long queue that cannot be solved optimally. The steps are performed in this study is the observation of the company, problem identification, problem definition, research objectives, limitation problems, assumptions, literature study, data collection and processing, analysis, and then the last stage is the conclusion and suggestion. The method used in this study is non-delay algorithm using multiple machines in accordance with the state of most companies today. From this study it can be concluded that the scheduling method by using non-delay algorithm with multiple machines is more optimal better than the methods that have been used by the company today. With this method, to produce 48 jobs with 33 machines require 373 hours makespan, 6.711 of flow time and tardiness as many as 118 hours.

Key Word: Production scheduling, non-delay scheduling, multiple machines, makespan, flow time, tardiness.

I. PENDAHULUAN

Pada zaman globalisasi seperti sekarang ini, perusahaan-perusahaan dituntut untuk saling berkompetisi dan memenuhi permintaan yang terkadang susah untuk diramalkan

dengan tepat waktu. Oleh karena itu, untuk dapat menyediakan barang secara tepat waktu dibutuhkanlah perencanaan yang matang mulai dari pembelian bahan baku, penjadwalan produksi, sampai pengiriman ke *customer*. Dalam hal ini, pemahaman mengenai konsep penjadwalan menjadi cukup penting dalam suatu proses produksi, sehingga para pelaksana mengetahui kapan waktu harus memulai suatu pekerjaan dan kapan waktu mengakhirinya. Perencanaan dan penjadwalan adalah proses pengambilan keputusan yang digunakan pada setiap industri manufaktur dan industri jasa (Pinedo, 2005). Sedangkan menurut Ginting (2009), penjadwalan adalah pengurutan pembuatan atau pengerjaan produk secara menyeluruh yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Dan Menurut Morton (1993), penjadwalan adalah proses pengorganisasian, pemilihan, dan penentuan waktu penggunaan sumber-sumber untuk mengerjakan semua aktivitas yang diperlukan yang memenuhi kendala aktivitas dan sumber daya. Penjadwalan disusun dengan mempertimbangkan berbagai kondisi dan batasan yang ada pada perusahaan tersebut. Penjadwalan yang berjalan dengan baik akan memberikan dampak positif, yaitu meminimumkan biaya operasi dan waktu pengiriman, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kepuasan pelanggan.

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang Flexible Packaging (kemasan yang fleksibel, khususnya yang berbahan dasar plastik) yang berlokasi di Cibitung. PT. XYZ sendiri adalah salah satu dari Wings Group yang menyediakan kemasan-kemasan plastik untuk produk-produk seperti mie sedaap, mama lemon, daia, boom, dll.

Perusahaan manufaktur *Flexible Packaging* pada umumnya menggunakan sistem *job shop* pada operasi penjadwalannya, begitu juga PT. XYZ. Penjadwalan *job shop* dapat diterjemahkan sebagai memproses setiap pekerjaan (*job*) dari n *job* pada m mesin dengan urutan tertentu (Pinedo, 2008). Setiap pekerjaan terdiri dari serangkaian operasi. Setiap mesin dapat menangani tidak lebih dari satu pekerjaan pada suatu waktu dan setiap pekerjaan mengunjungi mesin yang berbeda pada tiap prosesnya. Permintaan dari konsumen yang cukup banyak menyebabkan penumpukan pekerjaan atau barang yang membentuk antrian panjang yang tidak dapat diselesaikan secara optimal. Dan juga tidak adanya sistem yang efektif dari penjadwalan produksi yang melalui banyak proses, mesin dan waktu proses yang bervariasi, sehingga sering menemui banyak hambatan yang pada akhirnya menyebabkan pengiriman barang ke konsumen menjadi terlambat. Oleh sebab itu, metode optimasi untuk memecahkan masalah penjadwalan *job shop* secara efektif sangat penting untuk dapat meningkatkan produktivitas yang dihasilkan dengan total biaya dan waktu seminimum mungkin

II. METODE

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah observasi perusahaan. Pada tahap ini, dilakukan dengan observasi langsung ke perusahaan yang bersangkutan dan melakukan wawancara kepada manager perusahaan untuk mendapatkan gambaran keadaan perusahaan saat ini. Dari hasil observasi yang telah dilakukan, kemudian ditetapkan perumusan masalah yang terjadi di perusahaan. Setelah rumusan masalah ditentukan, kemudian ditentukanlah tujuan dari penelitian yang akan menjawab masalah yang telah dirumuskan tadi. Kemudian, ditentukanlah batasan-batasan agar tidak keluar dari ruang lingkup penelitian yang telah ditetapkan. Setelah itu, ditentukan juga beberapa asumsi guna membantu dalam penyelesaian masalah yang telah dirumuskan. Dari hasil rumusan yang didapat, dilakukanlah studi literatur untuk menunjang penelitian agar penelitian yang dilakukan berjalan secara benar/terarah. Landasan teori yang dibuat juga berisi teori-teori pendukung dan tetap mengacu pada batasan masalah yang telah dibuat, sehingga pembahasan penelitian tidak keluar dari ruang lingkungannya.

Pengumpulan data yang dilakukan adalah mengumpulkan data permintaan dari *customer*, data *speed* (kecepatan) dari masing-masing mesin pada tiap prosesnya, data *routing* dari tiap *job* yang akan diproses serta data waktu proses dari tiap *job* pada tiap

mesin. Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah sehingga menghasilkan informasi yang berguna untuk langkah penelitian selanjutnya, Pengolahan data yang dilakukan dengan memperhitungkan waktu proses dari masing-masing *job* (permintaan dari *customer*) sesuai dengan waktu standar yang telah ditentukan pada setiap proses produksinya. Kemudian hasil dari pengolahan data-data tersebut akan dibuat penjadwalannya dengan menggunakan metode heuristik dengan algoritma *Non-Delay* yang telah dikembangkan menggunakan mesin majemuk dan dibandingkan dengan metode penjadwalan yang sudah digunakan pada PT. XYZ. Setelah dibandingkan, kemudian dianalisis untuk mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi penelitian. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan analisis dan pembahasan hasil pengolahan data. Dan juga pemberian saran terhadap perusahaan dan peneliti selanjutnya

III. DATA

Proses Produksi

Pada PT. XYZ proses produksi yang dikerjakan yaitu:

1. Proses Pencetakan (*Printing Process*).
Adalah suatu proses mencetak (atas atau bawah) pada suatu bahan film. Teknik pencetakan yang dilakukan di PT. XYZ adalah *gravure printing*; yaitu salah satu cara cetakan *intaglio* (cetakan papan cekung/tercongel) yang menggunakan cylinder sebagai papan cetak
2. Proses laminasi (*Lamination and Extrusion Process*).
Adalah proses menyatukan atau mengkombinasikan dua atau lebih substrat dengan tujuan untuk meningkatkan performa dari kemasan baik terhadap gas, aroma, udara, air atau terhadap sinar ultra violet (UV); untuk menambah daya tarik produk dan untuk membuat lapisan *heat seal* agar kemasan dapat disegel (disatukan kedua sisinya), karena umumnya beberapa bahan material untuk pencetakan tidak dapat disegel atau mempunyai daya segel yang lemah. Proses laminasi yang dilakukan di PT. XYZ ada 2 macam, yaitu:
 - a. Laminasi ekstrusi (*extrusion lamination*)
Merupakan metode laminasi dengan melelehkan resin-resin termoplastik dan melapisinya pada bahan.
 - b. Laminasi kering (*dry lamination*)
Adalah penggabungan dua atau lebih lapisan film fleksibel dengan menggunakan bahan perekat. Setelah bahan yang akan dilapisi terselimuti oleh perekat secara merata di seluruh permukaannya, zat perekat ini kemudian dikeringkan dan diuapkan dari pelarut yang terkandung di dalamnya, setelah itu direkatkan pada bahan yang lainnya. Metode *dry lamination* ini paling populer digunakan karena memiliki lebih banyak keuntungan dibandingkan metode lainnya, seperti: kekuatan zat perekatnya tinggi, kestabilan dimensional pada saat proses tinggi sehingga sesuai untuk proses pencetakan, dan lebih ekonomis terhadap mesin dengan lini proses pendek.
3. Proses Pemisahan/ Pemoongan (*Slitting Process*)
Adalah bagian dari proses produksi akhir (*finishing*) yang merubah roll-roll jumbo (besar) kedalam roll ukuran kecil sesuai dengan spesifikasi produknya dengan kerapihan gulungan, *tension* gulungan dan panjang tertentu dilakukan di mesin slitter. Roll-roll kecil tersebut diberikan label/ sticker agar memudahkan penelusuran balik jika ada sesuatu masalah.
4. Proses Pembuatan Kantong (*Bag Making Process*)
Adalah bagian dari proses produksi terakhir (*finishing*) membuat lembaran dari roll menjadi kantong (bag) sesuai dengan spesifikasi, model dan ukuran yang ditentukan.

Data Permintaan, Routing, dan Waktu Proses

Data yang diambil pada penelitian kali ini adalah data permintaan dari *customer* di Jakarta dan Surabaya 2 minggu pertama pada bulan July 2012. Berikut data-data nya:

Tabel 1. Permintaan *Customer*

| No Job | Description | Purchase Order Qty | Sales unit | Due Date | Due D (hour) | No Job | Description | Purchase Order Qty | Sales unit | Due Date | Due D (hour) |
|--------|-----------------------------------|--------------------|------------|----------|--------------|--------|----------------------------------|--------------------|------------|----------|--------------|
| 1 | BAG OPP CIPT CRISTAL MED | 300,000 | PCS | 19-Jul | 384 | 25 | PEWANGI 1800 ML UNGU/SMU | 20000 | PCS | 12-Jul | 240 |
| 2 | BAG OPP CIPT EXT CLEAN SOFT | 300,000 | PCS | 19-Jul | 384 | 26 | PEWANGI 900ML BIRU/R1/SMU | 30 | ROL | 12-Jul | 240 |
| 3 | DAIA BUNGA 1800 GR/WS | 10,000 | PCS | 26-Jul | 312 | 27 | PEWANGI 900ML KUNING/R1/SMU | 30 | ROL | 12-Jul | 240 |
| 4 | DAIA SEGAR 1800 GR/WS | 20,000 | PCS | 25-Jul | 288 | 28 | SK HIGINIS 380 G BAG/R1/SMU | 200000 | PCS | 20-Jul | 336 |
| 5 | DAIA SOFTENER 430 G BAG/WS | 200,000 | PCS | 17-Jul | 264 | 29 | SK PRO 1800 GR/SMU | 50000 | PCS | 25-Jul | 288 |
| 6 | EKONOMI 500(260 GR)/R1/WS | 200 | ROL | 20-Jul | 240 | 30 | SK PRO 57 GR/SMU | 213 | ROL | 20-Jul | 240 |
| 7 | EKONOMI PUTIH 350(120 GR)/R2/WS | 100 | ROL | 20-Jul | 240 | 31 | SK PRO 900 GR/WS | 100000 | PCS | 16-Jul | 240 |
| 8 | EMERON ANTI KETOMBE 7ML 40% 4L/R1 | 192 | ROL | 24-Jul | 312 | 32 | SK SMART WHITE 900G GUSSET/R1/WS | 200000 | PCS | 17-Jul | 264 |
| 9 | EMERON URANG ARING 7ML 40% 4L/R1 | 96 | ROL | 24-Jul | 312 | 33 | SO KLIN PRO 380 G BAG/R1/SMU | 200000 | PCS | 18-Jul | 288 |
| 10 | IMS AB BUMBU POWDER + CHILIR1/KAS | 3,000 | ROL | 23-Jul | 432 | 34 | SOFTENER 900ML MERAH/R1/SMU | 50 | ROL | 9-Jul | 168 |
| 11 | IMS AB MINYAK BUMBU OIL/PAS/R1 | 1,000 | ROL | 23-Jul | 432 | 35 | SOFTENER 90ML BIRU PROMO CLR/1WS | 150000 | PCS | 19-Jul | 216 |
| 12 | JAS JUS MANGGA 8 G/R1 | 1,000 | ROL | 27-Jul | 408 | 36 | SOFTENER 90ML PINK PROMO CLR/1WS | 200000 | PCS | 19-Jul | 216 |
| 13 | JAS JUS STRAWBERRY 8 G/R1 | 800 | ROL | 26-Jul | 384 | 37 | SOFTENER AVOCADO 900ML/SMU | 10 | ROL | 9-Jul | 168 |
| 14 | MAMA LEMON EKS LEMON 70ML BAG | 1,016,600 | PCS | 30-Jul | 432 | 38 | SOFTENER FINE 900ML/R1/SMU | 15 | ROL | 9-Jul | 168 |
| 15 | MAMA LIME AB 70ML BAG | 1,573,200 | PCS | 31-Jul | 456 | 39 | SOFTERGENT BLUE 900 GR/R1/WS | 200000 | PCS | 24-Jul | 432 |
| 16 | MILK JUS ANGGUR 25 GR | 130 | ROL | 20-Jul | 360 | 40 | SOFTERGENT PINK 27GR(1250M)/WS | 200 | ROL | 26-Jul | 384 |
| 17 | MILK JUS CAPUCHINO 25 GR | 90 | ROL | 20-Jul | 360 | 41 | SOFTERGENT PINK 57 GR/R1/SMU | 450 | ROL | 26-Jul | 384 |
| 18 | MILK JUS STRAWBERRY 25 GR | 100 | ROL | 20-Jul | 360 | 42 | SOFTERGENT PINK 900 GR/R1/WS | 300000 | PCS | 24-Jul | 432 |
| 19 | OMS KARI AYAM SPESIAL/KAS | 3,000 | ROL | 16-Jul | 264 | 43 | TEA JUS GULA BATU PROMO A/R1 | 332 | ROL | 12-Jul | 168 |
| 20 | PEMBERSIH LANTAI 800 ML APPLE/WS | 20 | ROL | 17-Jul | 360 | 44 | TEA JUS LEMON PROMO A/R1 | 12 | ROL | 10-Jul | 120 |
| 21 | PEMBERSIH LANTAI 800 ML UNGU/WS | 20 | ROL | 17-Jul | 360 | 45 | TEA JUS MELATI PROMO A/R1 | 18 | ROL | 10-Jul | 120 |
| 22 | PEWANGI 100 ML PINK PROMOWS | 200,000 | PCS | 23-Jul | 312 | 46 | WINGS BIRU 350(120GR)/WS | 200 | ROL | 18-Jul | 192 |
| 23 | PEWANGI 100ML BLUE PROMOWS | 300,000 | PCS | 23-Jul | 312 | 47 | ZINC BLACK SHINE 7 ML 12L | 96 | ROL | 19-Jul | 192 |
| 24 | PEWANGI 1800 ML BIRU/SMU | 20,000 | PCS | 12-Jul | 240 | 48 | ZINC CLEAN ACTIVE 7 ML 4L | 320 | ROL | 19-Jul | 192 |

Mesin yang digunakan adalah:

| No Mesin | Description |
|----------|----------------------------|
| 1 | Printing : 6 Mesin |
| 2 | Extrusion : 3 Mesin |
| 3 | Dry Lamination 1 : 3 Mesin |
| 4 | Dry Lamination 2 : 2 Mesin |
| 5 | Slitting : 10 Mesin |
| 6 | Bag Making : 9 Mesin |

Dari data-data permintaan diatas, kemudian dicari waktu prosesnya dengan cara terlebih dahulu mengkonversi satuan roll dan pcs menjadi meter. Caranya untuk satuan roll adalah dengan membagi jumlah roll dengan “up” dari produk tersebut kemudian dikalikan dengan “counter” meter dari produk tersebut. Maka untuk satuan roll rumusnya menjadi:

$$meter = \frac{jumlah\ roll}{up} \times counter \quad \dots 1$$

Untuk satuan pcs maka rumusnya menjadi:

$$meter = \frac{jumlah\ pcs}{up} \times pitch \quad \dots 2$$

Maka untuk *job* no 1 menjadi:

$$meter = \frac{300,000}{2} \times 0,060 = 9,000\ m \quad \dots 3$$

Up = jumlah gambar produk pada satu baris roll besar
 Counter = panjang gulungan dari satu roll produk
 Pitch = tinggi dari gambar produk yang dibuat

Tabel 2. Perhitungan Konversi ke Meter

| No Job | Purchase Order Qty | Sales unit | Up | Counter (Mtr) | Pitch (mm) | Pitch (Mtr) | Konversi ke Meter |
|--------|--------------------|------------|----|---------------|------------|-------------|-------------------|
| 1 | 300,000 | PCS | 2 | | 60 | 0.060 | 9,000 |
| 2 | 300,000 | PCS | 2 | | 60 | 0.060 | 9,000 |
| 3 | 10,000 | PCS | 1 | | 417 | 0.417 | 4,170 |
| 4 | 20,000 | PCS | 1 | | 417 | 0.417 | 8,340 |
| 5 | 200,000 | PCS | 2 | | 270 | 0.270 | 27,000 |
| 6 | 200 | ROL | 3 | 1250 | | | 83,333 |
| 7 | 100 | ROL | 4 | 1250 | | | 31,250 |
| 8 | 192 | ROL | 2 | 800 | | | 76,800 |
| 9 | 96 | ROL | 2 | 800 | | | 38,400 |
| 10 | 3,000 | ROL | 7 | 1000 | | | 428,571 |
| 11 | 1,000 | ROL | 14 | 1000 | | | 71,429 |
| 12 | 1,000 | ROL | 6 | 1000 | | | 166,667 |
| 13 | 800 | ROL | 6 | 1000 | | | 133,333 |
| 14 | 1,016,600 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 23,636 |
| 15 | 1,573,200 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 36,577 |
| 16 | 130 | ROL | 5 | 1000 | | | 26,000 |
| 17 | 90 | ROL | 5 | 1000 | | | 18,000 |
| 18 | 100 | ROL | 5 | 1000 | | | 20,000 |
| 19 | 3,000 | ROL | 4 | 1500 | | | 1,125,000 |
| 20 | 20 | ROL | 1 | 900 | | | 18,000 |
| 21 | 20 | ROL | 1 | 900 | | | 18,000 |
| 22 | 200,000 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 4,650 |
| 23 | 300,000 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 6,975 |
| 24 | 20,000 | PCS | 1 | | 220 | 0.220 | 4,400 |
| 25 | 20,000 | PCS | 1 | | 220 | 0.220 | 4,400 |
| 26 | 30 | ROL | 1 | 750 | | | 22,500 |
| 27 | 30 | ROL | 1 | 750 | | | 22,500 |
| 28 | 200,000 | PCS | 2 | | 270 | 0.270 | 27,000 |
| 29 | 50,000 | PCS | 1 | | 417 | 0.417 | 20,850 |
| 30 | 213 | ROL | 4 | 1000 | | | 53,250 |
| 31 | 100,000 | PCS | 2 | | 330 | 0.330 | 16,500 |
| 32 | 200,000 | PCS | 2 | | 290 | 0.290 | 29,000 |
| 33 | 200,000 | PCS | 2 | | 270 | 0.270 | 27,000 |
| 34 | 50 | ROL | 1 | 750 | | | 37,500 |
| 35 | 150,000 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 3,488 |
| 36 | 200,000 | PCS | 4 | | 93 | 0.093 | 4,650 |
| 37 | 10 | ROL | 1 | 750 | | | 7,500 |
| 38 | 15 | ROL | 1 | 750 | | | 11,250 |
| 39 | 200,000 | PCS | 2 | | 330 | 0.330 | 33,000 |
| 40 | 200 | ROL | 5 | 1000 | | | 40,000 |
| 41 | 450 | ROL | 4 | 1000 | | | 112,500 |
| 42 | 300,000 | PCS | 2 | | 330 | 0.330 | 49,500 |
| 43 | 332 | ROL | 6 | 1000 | | | 55,333 |
| 44 | 12 | ROL | 6 | 1000 | | | 2,000 |
| 45 | 18 | ROL | 6 | 1000 | | | 3,000 |
| 46 | 200 | ROL | 4 | 1250 | | | 62,500 |
| 47 | 96 | ROL | 1 | 800 | | | 76,800 |
| 48 | 320 | ROL | 2 | 800 | | | 128,000 |

Setelah diketahui jumlah meternya, langkah selanjutnya adalah membuat tabel *routing* operasi dan tabel waktu prosesnya. Berikut tabel *routing* operasinya dan tabel waktu prosesnya:

Tabel 3. *Routing* Operasi

| No Job | Operation | | | | |
|--------|-----------|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1 | 2 | 5 | 6 | |
| 2 | 1 | 2 | 5 | 6 | |
| 3 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 5 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 6 | 1 | 2 | 5 | | |
| 7 | 1 | 2 | 5 | | |
| 8 | 1 | 2 | 5 | | |
| 9 | 1 | 2 | 5 | | |
| 10 | 1 | 3 | 5 | | |
| 11 | 1 | 3 | 5 | | |
| 12 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 13 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 14 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 15 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 16 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 17 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 18 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 19 | 1 | 2 | 5 | | |
| 20 | 1 | 3 | 5 | | |
| 21 | 1 | 3 | 5 | | |
| 22 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 23 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 24 | 1 | 3 | 4 | 6 | |
| 25 | 1 | 3 | 4 | 6 | |
| 26 | 1 | 3 | 5 | | |
| 27 | 1 | 3 | 5 | | |
| 28 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 29 | 1 | 3 | 4 | 6 | |
| 30 | 1 | 3 | 5 | | |
| 31 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 32 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 33 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 34 | 1 | 3 | 5 | | |
| 35 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 36 | 1 | 3 | 5 | 6 | |
| 37 | 1 | 3 | 5 | | |
| 38 | 1 | 3 | 5 | | |
| 39 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 40 | 1 | 3 | 5 | | |
| 41 | 1 | 3 | 5 | | |
| 42 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 43 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 44 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 45 | 1 | 2 | 4 | 5 | |
| 46 | 1 | 2 | 5 | | |
| 47 | 1 | 2 | 5 | | |
| 48 | 1 | 2 | 5 | | |

Tabel 4. Waktu Proses

| No Job | Operation | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 3 | 3 | 4 | 43 | |
| 2 | 3 | 3 | 4 | 43 | |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 7 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 11 |
| 5 | 4 | 6 | 10 | 54 | |
| 6 | 7 | 10 | 21 | | |
| 7 | 4 | 5 | 8 | | |
| 8 | 11 | 12 | 33 | | |
| 9 | 6 | 7 | 17 | | |
| 10 | 26 | 50 | 120 | | |
| 11 | 6 | 10 | 21 | | |
| 12 | 14 | 23 | 21 | 70 | |
| 13 | 11 | 18 | 17 | 57 | |
| 14 | 5 | 5 | 11 | 103 | |
| 15 | 6 | 7 | 16 | 158 | |
| 16 | 4 | 5 | 5 | 12 | |
| 17 | 3 | 4 | 4 | 8 | |
| 18 | 3 | 4 | 4 | 9 | |
| 19 | 64 | 87 | 188 | | |
| 20 | 4 | 4 | 11 | | |
| 21 | 4 | 4 | 11 | | |
| 22 | 2 | 3 | 3 | 23 | |
| 23 | 2 | 3 | 4 | 33 | |
| 24 | 2 | 3 | 3 | 15 | |
| 25 | 2 | 3 | 3 | 15 | |
| 26 | 4 | 5 | 13 | | |
| 27 | 4 | 5 | 13 | | |
| 28 | 4 | 5 | 10 | 54 | |
| 29 | 3 | 5 | 5 | 24 | |
| 30 | 6 | 8 | 15 | | |
| 31 | 3 | 4 | 4 | 6 | 28 |
| 32 | 4 | 5 | 5 | 11 | 70 |
| 33 | 4 | 5 | 10 | 54 | |
| 34 | 6 | 7 | 22 | | |
| 35 | 2 | 2 | 2 | 18 | |
| 36 | 2 | 3 | 3 | 23 | |
| 37 | 3 | 3 | 5 | | |
| 38 | 3 | 4 | 7 | | |
| 39 | 4 | 6 | 6 | 12 | 53 |
| 40 | 5 | 6 | 11 | | |
| 41 | 9 | 14 | 30 | | |
| 42 | 5 | 7 | 7 | 17 | 79 |
| 43 | 6 | 9 | 8 | 24 | |
| 44 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 45 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 46 | 6 | 8 | 16 | | |
| 47 | 11 | 12 | 33 | | |
| 48 | 16 | 19 | 54 | | |
| Total | 315 | 431 | 828 | 896 | 248 |

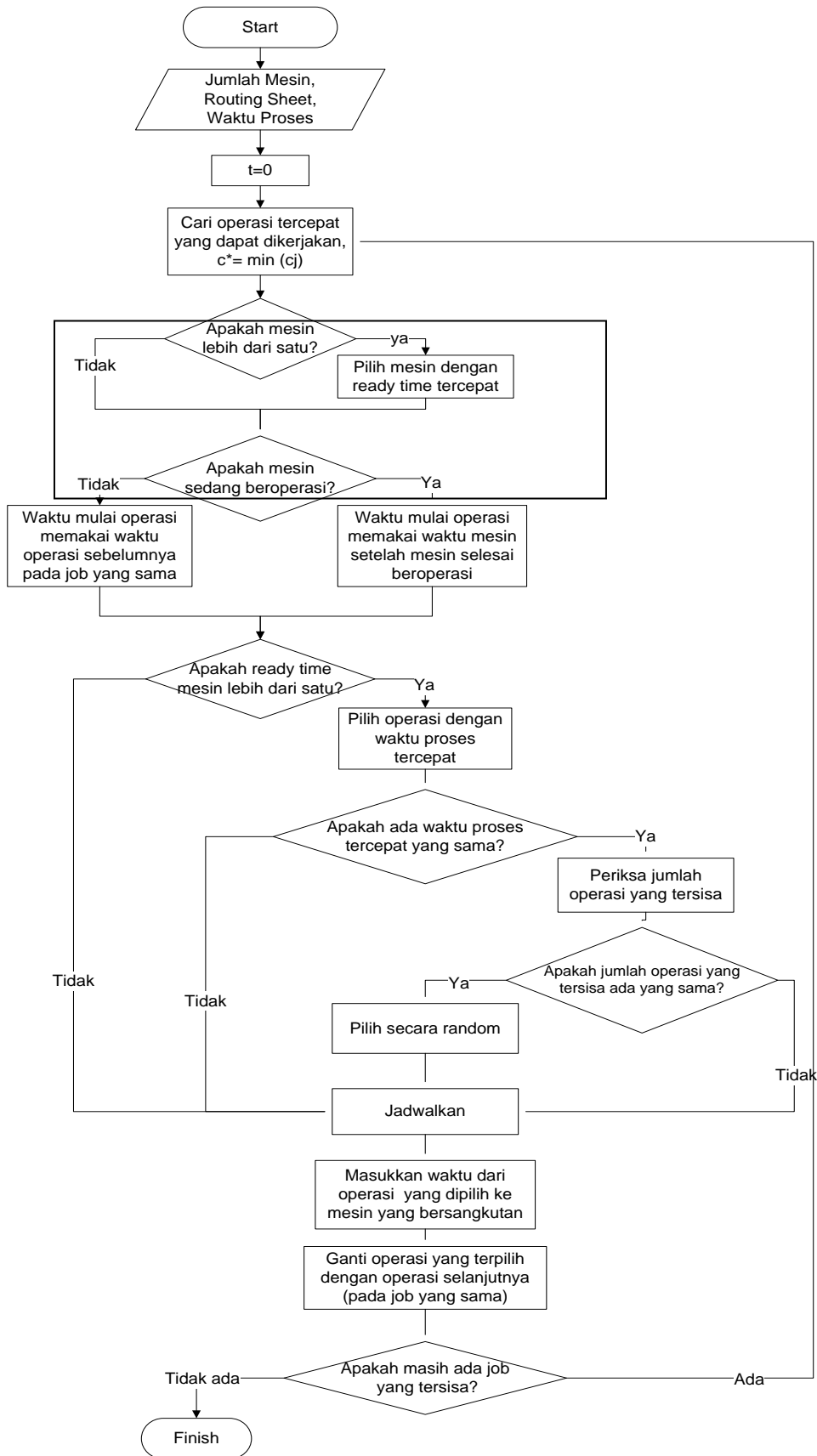
Algoritma Non-Delay

Jadwal *non-delay* adalah jadwal aktif dimana tidak ada mesin yang dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama dapat memulai operasi tertentu. Pada umumnya penjadwalan *job shop* dengan algoritma *non-delay* hanya menggunakan satu mesin (mesin tunggal) pada setiap prosesnya, yaitu dengan algoritma sebagai berikut (Baker, 1974):

- Langkah 1: Tentukan $t = 0$ dan dimulai dengan $Pst = 0$ (jadwal parsial yang mengandung t operasi terjadwal). Pada mulanya, St adalah tentang semua aktifitas tanpa adanya pendahulu. Lanjutkan ke Langkah 2.
- Langkah 2: Tentukan c^* yang merupakan C_j minimum pada stage 0 (saat paling awal operasi j dapat mulai dikerjakan). Lanjutkan ke Langkah 3.
- Langkah 3: Melihat apakah mesin sedang dalam keadaan beroperasi atau tidak. Jika mesin tidak sedang beroperasi, maka waktu mulai operasi mengikuti waktu operasi dari operasi sebelumnya pada *job* yang sama. Tetapi jika mesin sedang beroperasi, maka waktu mulai operasi mengikuti waktu mesin setelah mesin selesai beroperasi. Lanjutkan ke langkah 4.
- Langkah 4: Melihat apakah *ready time* mesin minimum lebih dari satu. Jika ya, berarti lanjutkan ke Langkah 5. Jika tidak, lanjutkan ke Langkah 8.
- Langkah 5: Pilihlah operasi berdasarkan aturan prioritas berdasarkan *Short Processing Time* (SPT) atau waktu proses tercepat. Jika masih ada lebih dari satu operasi maka prioritas selanjutnya maka lanjutkan ke Langkah 6. Jika sudah terpilih satu operasi untuk dijadwalkan maka lanjutkan ke Langkah 8.
- Langkah 6: Pilihlah operasi berdasarkan *Most Work Remaining* (MWKR) atau jumlah *job* terbanyak yang belum dikerjakan. Jika setelah prioritas MWKR masih terdapat lebih dari satu operasi yang dapat dijadwalkan, lanjutkan ke Langkah 7. Tetapi apabila hanya ada satu operasi dengan waktu proses tercepat, maka lanjutkan ke Langkah 8.
- Langkah 7: Pilihlah operasi secara *random*. Lanjutkan ke Langkah 8.

- Langkah 8: Jadwalkan operasi tersebut. Lanjutkan ke Langkah 9.
- Langkah 9: Masukkan waktu dari operasi yang dipilih ke mesin yang bersangkutan. Lanjutkan ke Langkah 10.
- Langkah 10: Gantilah operasi yang terpilih dengan operasi selanjutnya (untuk *job* yang sama). Lanjutkan ke Langkah 11.
- Langkah 11: Lihatlah apakah masih ada *job* yang tersisa. Jika ya, maka kembali ke langkah 2, mencari kapan operasi tercepat dapat dimulai. Jika tidak, maka proses telah selesai.

Namun, pada kenyataannya sekarang ini perusahaan-perusahaan sudah menggunakan mesin majemuk pada tiap proses produksinya, sehingga algoritma *non-delay* dengan mesin tunggal sudah kurang sesuai. Maka digunakanlah algoritma *non-delay* yang telah dikembangkan dengan mesin majemuk. Berikut dibawah ini gambar *Flowchart* Algoritma Penjadwalan *Non-Delay* untuk mesin majemuk:



Gambar 1. Flowchart Algoritma Penjadwalan Non-Delay untuk Mesin Majemuk

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjadwalan Dengan Menggunakan Metode Non-Delay

Pada PT. XYZ yang menggunakan proses *job shop* dalam memproduksi produk-produknya, metode yang cocok dalam proses penjadwalannya adalah metode *non-delay*. Sebenarnya, untuk menjadwalkan suatu proses *job shop*, dapat menggunakan dua metode, yaitu metode aktif dan metode *non-delay*. Jadwal aktif adalah jadwal yang tidak dapat dipindahkan lebih awal tanpa menunda operasi lain. Jadwal *non-delay* adalah jadwal aktif dimana tidak ada mesin yang dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama dapat memulai operasi tertentu. Oleh karena itu metode *non-delay* dipilih agar tidak ada mesin yang menganggur sehingga dapat meminimumkan *makespan*, *flowtime* serta *tardiness* dan meningkatkan produktivitas produksi.

Hal yang harus dilakukan pertama kali untuk menjadwalkan dengan menggunakan metode *non-delay* yaitu menentukan c^* yang merupakan C_j minimum pada stage 0. Setelah itu, pada stage 0 gunakanlah aturan prioritas *short processing time* (SPT) atau waktu proses tercepat. Aturan prioritas ini dipilih pertama kali agar tidak terjadi penumpukan operasi pada operasi terakhir. Pada penelitian ini, waktu proses (t_j) tercepat ada pada job 03, 22, 23, 24, 25, 35, 36, 44, dan 45 yaitu dengan waktu pengerjaan 2 jam. Karena masih terdapat lebih dari satu operasi dengan waktu proses tercepat, maka prioritas selanjutnya adalah *most work remaining* (MWKR) atau jumlah *job* terbanyak yang belum dikerjakan. Maka diperoleh *job* 03 dengan jumlah MWKR terbanyak, yaitu 5. Sehingga *job* 03 adalah *job* yang akan pertama kali dijadwalkan.

Selanjutnya, isilah pada kolom m^* berdasarkan mesin yang digunakan pada *job* 03, yaitu mesin 01. Kemudian isilah PSt berdasarkan St yang telah dipilih. Setelah itu, untuk iterasi kedua, ganti *job* 03 operasi 1 dengan *job* 03 operasi 2 beserta waktu prosesnya. Dan isilah kolom mesin yang memiliki *ready time* paling cepat (01a) dengan waktu proses *job* 03 operasi 1 yaitu 2 jam. Untuk iterasi selanjutnya, lakukanlah pemilihan c^* dan proses selanjutnya hingga semua *job* dan operasi selesai dijadwalkan. Setelah semua *job* dan operasi selesai dijadwalkan, diperoleh pengerjaan 48 *job* dengan 33 mesin memerlukan waktu 373 jam kerja atau 15.54 hari kerja (1 hari kerja = 24 jam kerja) dengan total *flow time* = 6,711 jam dan *tardiness* = 109 jam. Tabel 4.6.1 merupakan contoh dari penjadwalan dengan menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk.

Analisis

Penjadwalan Produksi Pada PT. XYZ

Penjadwalan produksi dilakukan untuk memperoleh urutan pengerjaan dari beberapa *job* sehingga akan diperoleh waktu proses keseluruhan (*makespan*) yang paling kecil. Pada penjadwalan *job shop* yang sering dibahas pada umumnya hanyalah menggunakan satu mesin dalam setiap operasinya, sedangkan yang banyak dipakai oleh perusahaan-perusahaan sekarang adalah dengan menggunakan banyak mesin (mesin majemuk). Oleh karena itu pada penelitian ini dipakai algoritma *non-delay* yang sudah dikembangkan, yang semula menggunakan mesin tunggal menjadi menggunakan mesin majemuk. Pada PT. XYZ, proses produksi dilakukan secara *job shop*, yaitu sesuai dengan permintaan dari customer. *Routing* yang dilewati oleh tiap *job* adalah bervariasi, ada yang berbeda maupun sama. Penjadwalan produksi dilakukan dengan memproses *job* yang memiliki *due date* paling cepat dan juga yang memiliki kesamaan dari ukuran materialnya terlebih dahulu. Akan tetapi, karena jumlah mesin yang digunakan cukup banyak dan belum adanya algoritma penjadwalan yang pasti, seringkali menyebabkan kesulitan pada saat penjadwalannya.

Penjadwalan Produksi dengan Metode Non-Delay untuk Mesin Majemuk

Pada penjadwalan dengan menggunakan metode *non-delay* untuk mesin majemuk prioritas yang digunakan ada beberapa yaitu waktu proses tercepat, sisa operasi terbanyak dan waktu *ready time* mesin tercepat. Dengan menggunakan metode *non-delay* untuk

mesin majemuk, didapatkan hasil penjadwalan produksi yang lebih optimal dan juga algoritma yang lebih jelas sehingga mempermudah dalam proses penjadwalannya.

Perbandingan Penjadwalan Produksi Pada PT. XYZ dengan Metode Non-Delay untuk Mesin Majemuk

Jika kita bandingkan antara penjadwalan produksi yang telah dipakai pada PT. XYZ dengan penjadwalan produksi menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, didapatkan bahwa penjadwalan produksi menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk mempunyai nilai *makespan*, *flow time*, dan *tardiness* yang lebih kecil dibandingkan dengan penjadwalan produksi yang telah dipakai pada PT. XYZ. Pada penjadwalan produksi yang dipakai oleh PT. XYZ membutuhkan waktu 384 jam kerja atau 16 hari kerja (1 hari kerja = 24 jam kerja) untuk menyelesaikan 48 job dengan 33 mesin. Sedangkan jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, waktu yang dibutuhkan adalah 373 jam kerja atau 15.54 hari kerja (1 hari kerja = 24 jam kerja). Maka, didapatkan nilai *makespan* dengan menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk lebih cepat 11 jam atau sekitar 2.86% daripada penjadwalan yang telah dilakukan oleh PT. XYZ. Hal ini disebabkan oleh, pada penjadwalan produksi yang dipakai oleh PT. XYZ proses pertama *job* terpanjang yaitu *job* 19 dengan total waktu proses 339 jam dikerjakan pada mesin 1b dengan *ready time* mesin di jam ke 45, sehingga prosesnya akan selesai pada jam ke 384. Sedangkan jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, proses pertama *job* ke 19 dikerjakan pada mesin 1f dengan *ready time* mesin di jam ke 34, sehingga prosesnya akan selesai pada jam ke 373.

Untuk waktu alir (*flow time*) dari penjadwalan produksi yang telah dilakukan oleh PT. XYZ adalah 7,894 jam dengan rata-rata waktu alir (*mean flow time*) 239.21 jam dalam menyelesaikan 48 *job* dengan 33 mesin. Sedangkan jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, nilai waktu alir (*flow time*) yang dibutuhkan adalah 6,711 jam dengan rata-rata waktu alir (*mean flow time*) 203.36 jam. Maka, didapatkan nilai *flow time* jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk lebih cepat 1,183 jam dengan *mean flow time* 35.85 jam atau 14.99% lebih cepat dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan oleh PT. XYZ. Untuk nilai keterlambatan (*tardiness*) dari penjadwalan produksi yang telah dilakukan oleh PT. XYZ adalah 120 jam atau 5 hari kerja (1 hari kerja = 24 jam kerja) dalam menyelesaikan 48 *job* dengan 33 mesin. Sedangkan jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, nilai keterlambatan (*tardiness*) menjadi 109 jam atau 4.54 hari kerja (1 hari kerja = 24 jam kerja). Dapat kita lihat nilai *tardiness* dengan menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk lebih sedikit sebanyak 11 jam atau 9.17% lebih sedikit dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan oleh PT. XYZ. Hal ini disebabkan oleh, pada penjadwalan produksi yang dipakai oleh PT. XYZ proses terakhir *job* terpanjang yaitu *job* 19 dengan waktu proses 188 jam dikerjakan pada mesin 5e dengan *ready time* mesin pada jam ke 196, sehingga prosesnya selesai pada jam ke 384. Dengan *due date* 264 jam (11 hari kerja) maka, nilai *tardiness* menjadi 120 jam (5 hari kerja). Sedangkan jika menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, proses terakhir *job* terpanjang yaitu *job* 19 dikerjakan pada mesin 5b dengan *ready time* pada jam ke 185, sehingga prosesnya selesai pada jam ke 373. Dengan *due date* 264 jam (11 hari kerja) maka, nilai *tardiness* menjadi 109 jam (4.54 hari kerja).

Dengan hasil *makespan*, *flow time*, serta *tardiness* diatas dapat kita lihat bahwa penjadwalan dengan menggunakan algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk mempunyai *makespan* lebih cepat 2.86 %, *flow time* lebih cepat 14.99 % dan *tardiness* 9.17 % lebih sedikit dibandingkan penjadwalan produksi yang digunakan pada PT. XYZ.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah pada penjadwalan job shop yang memakai mesin majemuk pada tiap prosesnya dapat digunakan metode penjadwalan *non-delay* untuk mesin majemuk, dengan hasil sebagai berikut:

1. Waktu penyelesaian (*makespan*) untuk menyelesaikan 48 *job* dengan 33 mesin menggunakan metode penjadwalan *non-delay* untuk mesin majemuk adalah 373 jam atau 2.86% lebih cepat dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan PT XYZ.
2. Waktu alir (*flow time*) untuk menyelesaikan 48 *job* dengan 33 mesin menggunakan metode penjadwalan *non-delay* untuk mesin majemuk adalah 6,711 jam atau 14.99% lebih cepat dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan PT. XYZ.
3. Keterlambatan (*tardiness*) untuk menyelesaikan 48 *job* dengan 33 mesin menggunakan metode penjadwalan *non-delay* untuk mesin majemuk adalah 118 jam atau 9.17% lebih sedikit dibandingkan dengan penjadwalan yang telah dilakukan PT. XYZ.
4. Rata-rata utilitas mesin dengan menggunakan metode penjadwalan *non-delay* untuk mesin majemuk adalah 21.49% atau lebih besar 0.62% dibandingkan dengan rata-rata utilitas mesin dengan penjadwalan yang telah dilakukan PT. XYZ.

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

Melakukan penelitian lebih lanjut dengan adanya *job* sisipan, *machine break down* dan *aging time*, serta membuat software menggunakan algoritma ini agar dalam pembuatan jadwal produksi tidak memerlukan waktu yang lama.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baker, Kenneth R. 1974. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. New York. John Wiley & Sons.
- [2] Ginting, Rosnani. 2009. *Penjadwalan Mesin*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- [3] Pinedo, Michael L. 2005. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York. Springer.
- [4] Pinedo, Michael L. 2008. *Scheduling Theory, Algorithm, and System*. New York. Springer.
- [5] Morton, Thomas E & David W. Pentico. 1993. *Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management*. Canada. John Wiley and Sons.