

**PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN *INTEGER LINEAR PROGRAMMING* UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN
(Studi Kasus: Pt. Dwisutra Setia Agung Surabaya)**

**HYBRID FLOWSHOP SCHEDULING USING *INTEGER LINEAR PROGRAMMING* TO *MINIMIZE MAKESPAN*
(Case Study: Pt. Dwisutra Setia Agung Surabaya)**

Fibri Ridho Pratiwi¹⁾, Arif Rahman²⁾, Ceria Farela Mada Tantrika³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: riridpratiwi@gmail.com¹⁾, posku@ub.ac.id²⁾, ceria_fmt@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Penjadwalan merupakan alokasi dari sumber daya terhadap waktu untuk menghasilkan sebuah kumpulan pekerjaan. PT. Dwisutra Setia Agung merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri kasur spons. Kasur spons yang diproduksi terdiri dari 3 tipe yaitu deluxe excellent dan special. Proses produksi kasur spons terdiri dari 6 proses, yaitu penimbangan, pengadukan, pencampuran, pencetakan, pemotongan, dan penjahit. Pada proses pemotongan dan penjahitan terdapat 2 mesin identik yang biasa disebut hybrid flowshop. Permasalahan yang dihadapi PT. Dwisutra Setia Agung yaitu seringnya terjadi lost sale. Oleh karena itu perlu dilakukan penjadwalan untuk meminimasi makespan dengan memperhatikan jumlah identik mesin. Tahap dalam penelitian ini adalah peramalan produksi untuk periode selanjutnya, penentuan waktu proses produksi untuk tiap job di tiap mesin dan penjadwalan hybrid flowshop dengan bantuan software Lingo. Hasil dari penelitian ini adalah penjadwalan job untuk masing masing tipe. Penurunan nilai makespan untuk tipe deluxe 28,84%, tipe excellent 44,15%, dan tipe special 41,97%.

Kata kunci: *lost sale*, penjadwalan produksi, *hybrid flowshop*, makespan

1. Pendahuluan

Perkembangan sektor industri saat ini semakin cepat. Bahkan dalam berbagai bidang dituntut untuk bergerak cepat. Persaingan di bidang industri juga semakin berat dan kompetitif. Langkah yang menjadi kunci awal untuk menghadapi persaingan dan menjadi strategi perusahaan yaitu mampu memenuhi permintaan pelanggan dengan ketepatan waktu yang telah disepakati. Perusahaan harus mampu mengimbangi permintaan konsumen dengan kapasitas produksi yang dimiliki perusahaan. Ketepatan waktu pesanan tidak lepas dari penjadwalan produksi suatu perusahaan yang benar. Penjadwalan produksi suatu perusahaan merupakan hal terpenting demi kelangsungan dan kelancaran produksi perusahaan untuk memenuhi permintaan konsumennya.

PT. Dwisutra Setia Agung merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur. Jenis produk yang diproduksi PT. Dwisutra Setia Agung adalah spons dan kasur spons. Kasur spons memiliki beberapa tipe dan jenis sesuai ukuran. Secara umum terdapat 3 tipe kasur spons, isabella *deluxe*, *excellent* dan *special*. PT. Dwisutra Setia Agung memiliki permintaan spons yang cukup banyak dari

berbagai daerah. Proses produksi pada PT. Dwisutra Setia Agung selama ini menggunakan strategi produksi *Make To Stock*. PT. Dwisutra Setia Agung memenuhi permintaan pelanggan tanpa adanya perhitungan yang signifikan untuk produksi sebelumnya. Produksi spons yang dilakukan hanya menunggu permintaan dan peramalan berdasarkan data historis perusahaan. Metode ini dirasa kurang efektif karena masih adanya *lost sale* yang terjadi.

Proses produksi PT. Dwisutra Setia Agung memiliki 7 tahapan proses/*stage* yaitu penimbangan, pencampuran bahan sampingan, pengadukan, pencetakan, pemotongan, penjahitan, dan pengemasan. Pada tahap pemotongan dan penjahitan terdapat 2 mesin yang disusun secara paralel. Urutan proses produksi untuk semua *job* sama yaitu melewati urutan dari awal sampai akhir dengan alur yang sama.

Waktu proses untuk proses pemotongan dan penjahitan yaitu sama untuk tiap job ketika di proses pada mesin 1 maupun mesin 2. Penjadwalan produksi pada PT. Dwisutra Setia Agung yang seperti ini merupakan perusahaan dengan tipe penjadwalan *hybrid flowshop*. *Hybrid flowshop* merupakan generalisasi dari

permasalahan *flowshop* klasik dimana terdapat beberapa mesin paralel di minimal 1 *stage* atau tahap dari suatu proses (Oguz, Janiak, & Lichtenstein, 2001).

Permasalahan yang dihadapi PT. Dwisutra Setia Agung selama ini berkaitan dengan penolakan *order* kasur berdasarkan permintaan pelanggan karena waktu proses produksi yang cukup lama sehingga tidak mampu memenuhi permintaan pelanggan. Penolakan *order* atau *lost sale* dilakukan bila permintaan yang diterima perusahaan dirasa sudah cukup sehingga perusahaan tidak mampu untuk memenuhi permintaan pelanggan dalam jangka waktu yang ditentukan.

Oleh karena itu, penjadwalan produksi suatu perusahaan harus benar-benar diperhatikan. Penjadwalan produksi merupakan kegiatan penting bagi sebuah perusahaan. Hal ini dikarenakan penjadwalan merupakan awal dari sebuah proses produksi. Penjadwalan merupakan alokasi dari sumber daya terhadap waktu untuk menghasilkan sebuah kumpulan pekerjaan. Penjadwalan dibutuhkan untuk memproduksi *order* dengan pengalokasian sumber daya yang tepat, seperti mesin yang digunakan, jumlah operator yang bekerja, urutan pengerjaan part, dan kebutuhan material. Dengan pengaturan penjadwalan yang efektif dan efisien, perusahaan akan dapat memenuhi *order* tepat pada *due date* serta kualitas yang telah ditentukan (Baker, 1974). Penjadwalan adalah suatu proses pengambilan keputusan yang memainkan peranan penting dalam kebanyakan bidang manufaktur dan pelayanan industri, penjadwalan digunakan dalam pengadaan bahan dan produksi dalam bidang transportasi dan distribusi serta dalam proses informasi dan komunikasi (Baroto, 2002).

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas pada PT. Dwisutra Agung maka diperlukan adanya penjadwalan produksi. Hal ini perlu dilakukan untuk meminimalisir waktu produksi sehingga dapat mengurangi terjadinya penolakan *order*. Dalam penelitian kali ini penjadwalan produksi yang diusulkan menggunakan model *integer linear programming*. Model *integer linear programming* ini merupakan model yang dikembangkan oleh Quan, Wang, Jun pada tahun 2012 yang dapat memenuhi kendala penjadwalan produksi yang memiliki *k stage* dan di dalam minimal 1 *stage* terdapat lebih dari *i* mesin identik (*hybrid flowshop*).

Tujuan dari model *integer linear*

programming ini untuk meminimasi makespan. Makespan merupakan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh *job*, mulai dari *job*-i. (Daihani, 2001).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif adalah suatu metode penelitian yang memusatkan perhatian pada masalah-masalah atau kejadian yang bersifat aktual pada saat penelitian dilakukan, kemudian menggambarkan fakta-fakta tentang masalah yang diteliti (Hussey dan Hussey, 1997).

2.1 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan

Mengidentifikasi dan observasi langsung permasalahan yang ada di lapangan.

2. Studi Pustaka

Mencari literatur yang mendukung penelitian ini untuk lebih memantapkan metode yang sesuai dengan permasalahan yang terjadi di perusahaan.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal dalam penelitian. Tahap ini dilakukan dengan mengamati kondisi riil yang terjadi di lapangan untuk mengetahui bagaimana sistem yang sedang berlangsung di perusahaan (survey pendahuluan). Setelah itu memahami permasalahan yang terjadi berdasarkan pengamatan yang dilakukan dengan mempelajari teori-teori ilmiah yang berkaitan dengan pengamatan yang dilakukan (studi literatur).

4. Perumusan Masalah

Dalam tahap ini merupakan hasil dari tahap identifikasi masalah. Topik penelitian dan identifikasi masalah yang telah diperoleh, digunakan sebagai acuan dalam menentukan rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tahap selanjutnya adalah menentukan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Hal ini sangat penting dilakukan untuk mendapatkan acuan dalam menentukan tingkat keberhasilan suatu penelitian.

6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi, wawancara, dokumentasi terkait dengan topik penelitian yang diambil. Data yang dibutuhkan

dalam penelitian dan didapat dari PT. Dwisutra Setia Agung adalah data historis permintaan perusahaan, waktu proses pengerjaan job pada tiap-tiap mesin yang digunakan, jumlah job yang dikerjakan, jumlah mesin yang dipakai dalam proses produksi, penjadwalan yang diterapkan perusahaan serta profil dan struktur organisasi PT. Dwisutra Setia Agung.

7. Pengolahan dan Analisis Data

Data-data yang telah diperoleh dari tahap-tahap sebelumnya, diolah dengan menggunakan metode yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Langkah-langkah pengolahan data adalah sebagai berikut:

- Mengidentifikasi permasalahan penjadwalan produksi perusahaan.
- Meramalkan jumlah permintaan perusahaan periode selanjutnya.
- Menghitung total waktu tiap *job* pada tiap *stage* berdasarkan jenis tipe kasur spons.
- Menentukan urutan *job* dengan model *integer linear programming*.
- Menghitung nilai makespan penjadwalan produksi dengan model *integer linear programming*.
- Membandingkan nilai makespan *existing* dengan nilai makespan dengan model *integer linear programming*.

3. Model Integer Linear Programming

Model *integer linear programming* penjadwalan *hybrid flowshop* merupakan model formulasi yang dapat menyelesaikan 2 masalah penjadwalan yaitu regular flowshop dan parallelshop. *Hybrid flowshop* merupakan proses *manufakturing* secara umum dimana sejumlah *n* *job* akan diproses pada *stage*/tahap secara berurutan (Ruiz & Rodriguez, 2010). Regular flowshop hanya terdapat 1 mesin dalam *k* *stage* yang kemudian digabungkan dengan parallel shop yang memiliki *stage* dengan lebih dari 1 mesin identik. Formulasi model *integer linear programming* ini memiliki fungsi tujuan yaitu meminimasi nilai makespan dan memiliki beberapa fungsi kendala.

Formulasi model *integer linear programming* ini memiliki fungsi tujuan yaitu meminimasi nilai makespan dan memiliki beberapa fungsi kendala. Selain fungsi tujuan dan fungsi kendala, juga terdapat parameter dari fungsi tujuan dan fungsi kendala model *integer linear programming*. Parameter tersebut adalah

j : *Job*

l : *Job*

i :Mesin

k :*Stage*

$P_{k,j}$: Waktu proses *job* j pada *stage* k

$S_{k,j}$: waktu mulai *job* j pada *stage* k

U : nilai big M

$X_{k,j,i}$: Bernilai 1 apabila *job* j dikerjakan oleh mesin i pada *stage* k

: Bernilai 0 apabila *job* j tidak dikerjakan oleh mesin i pada *stage* k

$Y_{k,j,l}$: Bernilai 1 apabila *job* j dikerjakan terlebih dahulu dari pada *job* l pada *stage* k

: Bernilai 0 apabila *job* l dikerjakan terlebih dahulu dari pada *job* j pada *stage* k

C_{max} : *Completion time* maksimal

3.1 Fungsi Tujuan Model Integer linear programming

Dalam mengerjakan penjadwalan dengan model *integer linear programming* terdapat fungsi tujuan. Fungsi Tujuan dari model *integer linear programming* yaitu meminimasi makespan. Nilai makespan sebagai tujuan penjadwalan untuk dapat meminimasi makespan sehingga dapat meminimalisir terjadinya *lost sale* yang dialami oleh PT. Dwisutra Setia Agung, Surabaya. Nilai makespan didapatkan dari starting *job* j pada *stage* terakhir di jumlahkan dengan waktu proses *job* j pada *stage* terakhir.

$$\text{Minimize } C_{max} = \max(S_{j,m} + P_{j,m}) \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (\text{pers.1})$$

3.2 Fungsi Kendala Model Integer linear programming

Sedangkan fungsi kendala dalam algoritma ini terdapat lebih dari 1 fungsi kendala. Fungsi kendala ini digunakan untuk memberikan batasan pada model *integer linear programming* dalam menyelesaikan masalah penjadwalan untuk dapat menghasilkan fungsi tujuan yang optimal. Fungsi kendala pada model *integer linear programming* disini adalah sebagai berikut:

- Setiap *job* harus melewati setiap *stage* dan hanya melewati 1 mesin untuk tiap mesin
Setiap *job* yang dikerjakan harus melalui setiap *stage* yang terdapat pada lintasan produksi yaitu terdapat 6 *stage*. 5 *job* tersebut harus dikerjakan pada setiap *stage* dengan urutan yang sama 1 sampai 6. Selain itu, dalam

setiap *stage* setiap *job* hanya melewati 1 mesin. Hal ini merupakan kendala yang nantinya akan digunakan dalam penentuan rute urutan *job* yang harus di kerjakan. Dimana *job* j harus melewati *stage* k dan mesin i. Formulasi model kendala ini dapat dilihat pada persamaan 4-1.

$$\sum_{i=1}^{lk} X_{k,j,i} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.2})$$

2. *Starting job* pada *stage* pertama lebih besar sama dengan dari 0

Pada *stage* pertama untuk *job* j memiliki nilai *starting job* lebih dari 0. Hal ini dikarenakan *job* j yang tidak menjadi urutan pertama akan memiliki *job* sebelumnya yang sudah dikerjakan. Sehingga *job* j tersebut memiliki waktu awal untuk memulai *job* tersebut dikerjakan. Sehingga *job* j pada *stage* pertama lebih besar sama dengan nol.

$$S_{1,j} \geq 0 \quad \text{untuk } \forall j = 1, \dots, n \quad (\text{pers.3})$$

3. Proses selanjutnya hanya dapat dikerjakan ketika proses pada *stage* sebelumnya untuk *job* j sudah selesai dikerjakan.

Pengerjaan *job* j akan dilakukan berurutan pada *stage* 1 hingga *stage* m. *Job* j akan dapat melalui proses pada *stage* k+1 ketika proses *job* j pada *stage* k telah selesai dikerjakan. Sehingga proses selanjutnya hanya dapat dikerjakan ketika proses yang mendahului telah diselesaikan.

$$S_{j,k+1} - S_{j,k} \geq P_{j,k} \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.4})$$

4. Urutan *job* mana yang akan dikerjakan terlebih dahulu

Suatu urutan *job* hanya bisa berjalan ketika terpenuhi antara *job* j dan *job* l, mana *job* yang akan dikerjakan terlebih dahulu dan mana *job* yang akan dikerjakan setelahnya. Sehingga ketika *job* j dikerjakan terlebih dahulu sebelum *job* l pada *stage* yang sama maka tidak mungkin *job* l mendahului *job* j.

$$Y_{k,j,l} - Y_{k,l,j} \leq 1 \quad \text{untuk } \forall j = 1, \dots, n; \forall l = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.5})$$

Job yang akan dikerjakan pada mesin yang sama dapat dikerjakan setelah *job* yang mengawali selesai dikerjakan.

Setiap *job* akan melewati semua *stage*. Dalam sebuah *stage* terdapat beberapa mesin. Ketika ada 2 *job* atau lebih yang dikerjakan pada mesin yang sama, maka *job* berikutnya

hanya dapat dikerjakan ketika *job* yang mendahului telah selesai dikerjakan.

$$S_{k,l} - (S_{k,j} + P_{k,j}) + Ux(3 - Y_{k,j,l} - X_{k,j,i} - X_{k,l,i}) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall l = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m; \forall i = 1, \dots, k \quad (\text{pers.6})$$

Pada persamaan 6 terbagi menjadi 2 bagian, bagian pertama menjelaskan bahwa *starting job* l pada *stage* k dikurangi *starting job* j ditambah *processing time job* j, sedangkan bagian 2 dijelaskan ketika *job* j dikerjakan terlebih dahulu sebelum *job* l, sedangkan *job* j dan *job* l dikerjakan di mesin yang sama maka akan dikalikan U yang merupakan nilai big M, sehingga dipaksakan untuk memnuhi bagian pertama.

Berikut model matematis model *integer linear programming*:

$$\text{Minimize } C_{max} = \max(S_{j,m} + P_{j,m}) \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (\text{pers.7})$$

$$\text{Kendala} \quad \sum_{i=1}^{lk} X_{k,j,i} = 1 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.8})$$

$$S_{j,1} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (\text{pers.9})$$

$$S_{j,k+1} - S_{j,k} \geq P_{j,k} \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.10})$$

$$Y_{k,j,l} - Y_{k,l,j} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall l = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.11})$$

$$S_{k,l} - (S_{k,j} + P_{k,j}) + Ux(3 - Y_{k,j,l} - X_{k,j,i} - X_{k,l,i}) \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall l = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m; \forall i = 1, \dots, k \quad (\text{pers.12})$$

$$X_{k,j,i} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m; \forall i = 1, \dots, k \quad (\text{pers.13})$$

$$Y_{k,j,l} \leq 1 \quad \forall j = 1, \dots, n; \forall l = 1, \dots, n; \forall k = 1, \dots, m \quad (\text{pers.14})$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Peramalan Permintaan

Pada bab ini dijabarkan bagaimana peramalan permintaan produksi PT. Dwisutra Setia Agung. Metode peramalan permintaan yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan metode *Exponential Smoothing*, dimana dalam metode *Exponential Smoothing* digunakan $\alpha : 0,1$ hingga $\alpha : 0,9$. Berikut contoh perhitungan peramalan permintaan dan perhitungan *error* untuk *job* 1 dengan $\alpha : 0,9$. Peramalan dengan metode *exponential smoothing* ini didasarkan pada data permintaan PT. Dwisutra Setia Agung pada tahun 2012-2014 pada Lampiran 1.

Contoh perhitungan peramalan dengan metode *exponential smoothing* adalah sebagai berikut:

Rumusan Pehitungan *Forecast*

$$\begin{aligned} \text{Forecast Periode-1} &= \text{rata-rata nilai aktual} \\ &\text{periode-1 sampai 24} \\ &= 109,63 \end{aligned}$$

Forecast Periode-2

$$F_t = \alpha (D_{t-1}) + (1-\alpha)(F_{t-1})$$

$$F_2 = 0,1 \times 103 + (1 - 0,1)(109,63)$$

$$F_2 = 108,967$$

Perhitungan Error

Periode-1

Nilai aktual = 103

Nilai Forecast = 110

Error = aktual – forecast

$$= 103 - 110 = -7$$

RSFE = -7

Absolute error = [-7] = 7

Kumulatif absolute error = 7

MAD = kumulatif absolute error : RSFE

$$= 7 : (-7) = -1$$

Tracking Signal = MAD : periode

$$= -1 : 1 = -1$$

Dari semua periode dan untuk semua alfa (α) 0,1 sampai 0,9 dihitung sedemikian seperti contoh perhitungan di atas, kemudian dilihat nilai error terkecil untuk setiap *job* sehingga diperoleh hasil forecast optimal dari metode *Exponential Smoothing*. Dalam peramalan produksi untuk PT. Dwisutra Setia Agung ini terbagi menjadi 3 tipe produk. dimana tiap tipe produk terdapat 5 *job* yang akan dijadwalkan. Produk kasur spons yang terbagi menjadi 3 tipe produk dibagi kedalam 5 *job* tiap tipe dengan inisialisasi *job* yaitu D1 sampai D5 untuk tipe *deluxe*, E1 sampai E5 untuk tipe *excellent* dan S1 sampai S5 untuk tipe *special*.

Tabel 1. Data Peramalan Permintaan Setiap *Job*

<i>Job</i>	Peramalan Permintaan (unit)
D1	119
D2	77
D3	79
D4	59
D5	124
E1	84
E2	54
E3	47
E4	39
E5	69
S1	44
S2	43
S3	35
S4	25
S5	46

Hasil peramalan dengan *Exponential Smoothing* dapat ditentukan pemilihan optimal berdasarkan nilai error terkecil tiap *job* serta nilai tracking signal yang berada pada nilai $-4 \leq TS \leq 4$ sehingga dapat dipilih hasil peramalan

yang optimal untuk tiap *job*. Hasil peramalan optimal untuk tiap *job* dapat dilihat pada Tabel 1.

4.2 Perhitungan Waktu Proses Produksi Tiap *Job*

Setiap mesin produksi pada setiap *stage* memiliki waktu produksi yang berbeda-beda. Dengan jumlah produksi yang dikerjakan berbeda-beda untuk setiap *job* maka menyebabkan waktu proses produksi untuk setiap *job* dan setiap mesin berbeda. Waktu proses produksi ini sangat mempengaruhi dalam menghitung penjadwalan produksi. Karena dengan adanya waktu produksi ini maka dapat ditentukan *job* mana yang dikerjakan terlebih dahulu untuk dikerjakan agar diperoleh waktu optimal.

Tabel 2. Data Jumlah dan Jenis Mesin

No	Jenis Mesin	Jumlah
1	Mesin Timbang	1
2	Mesin Pengaduk	1
3	Mesin Mixer	1
4	Mesin Cetak	1
5	Mesin Potong	2
6	Mesin Jahit	2

Jenis dan jumlah mesin yang digunakan untuk proses produksi kasur spons pada PT. Dwisutra Setia Agung dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Data Waktu Proses Produksi (menit/unit)

Ukuran	90	120	150	160	180
Timbang	8,45	9,11	9,36	9,57	10,08
Aduk	5,07	5,26	5,42	5,59	6,32
Mixer	1	1,19	1,27	1,31	1,42
Cetak	1,58	2,19	2,36	2,57	3,16
Potong	8,43	9,17	9,49	10,17	10,52
Jahit	17,23	18,32	19,07	19,29	19,43
Total	42,56	46,04	48,17	50,1	52,13

Selain jenis dan jumlah mesin, waktu produksi per unit pada tiap mesin yang akan digunakan untuk menghitung total waktu tiap *job* dapat dilihat pada Tabel 3. Waktu produksi pada Tabel 3 didasarkan pada ukuran kasur spons.

Untuk ketiga tipe kasur spons dengan ukuran yang sama memiliki waktu produksi sama pula pada tiap mesin. Waktu produksi pada Tabel 3 akan di hubungkan dengan hasil

peramalan pada Tabel 1 untuk menghitung total waktu pengerjaan tiap *job* pada tiap mesin.

Berikut merupakan contoh perhitungan waktu produksi untuk setiap mesin untuk *job* 1 *deluxe* :

1. *Stage* Timbang

Waktu proses = 8,45 menit

Jumlah Produksi = $119 / 8 = 14,875 = 15$ unit

Total waktu *job* 1 = 2,19 jam

2. *Stage* Pengadukan

Waktu proses = 5,07 menit

Jumlah Produksi = $119 / 8 = 15$ unit

Total waktu *job* 1 = 1,28 jam

3. *Stage* Pencampuran

Waktu proses = 1 menit

Jumlah Produksi = $119 / 8 = 15$ unit

Total waktu *job* 1 = 0,25 jam

4. *Stage* Cetak

Waktu proses = 1,58 menit

Jumlah Produksi = $119 / 8 = 15$ unit

Total waktu *job* 1 = 0,49 jam

5. *Stage* Potong

Waktu proses = 8,43 menit

Jumlah Produksi = 119 unit

Total waktu *job* 1 = 17,29 jam

6. *Stage* Jahit

Waktu proses = 17,23 menit

Jumlah Produksi = 119 unit

Total waktu *job* 1 = 34,48 jam

Tabel 4. Total Waktu Proses Tiap Job

Job	Tipe	Waktu Proses (jam)					
		T	A	M	C	P	J
1	D1	2,19	1,28	0,25	0,49	17,29	34,48
2	D2	1,99	1,18	0,29	0,5	11,91	23,78
3	D3	2,56	1,08	0,39	0,69	12,93	25,17
4	D4	1,99	1,2	0,3	0,59	10,11	19,16
5	D5	4,22	2,72	0,71	1,15	22,46	40,75
6	E1	1,6	0,94	0,18	0,36	12,2	24,34
7	E2	1,38	0,82	0,2	0,35	8,36	16,68
8	E3	1,6	0,67	0,24	0,43	7,69	14,97
9	E4	1,33	0,8	0,2	0,39	6,68	12,66
10	E5	2,36	1,52	0,4	0,65	12,5	22,67
11	S1	0,88	0,51	0,1	0,2	6,39	12,75
12	S2	1,22	0,72	0,18	0,31	6,65	13,28
13	S3	1,12	0,47	0,17	0,3	5,73	11,15
14	S4	0,83	0,5	0,13	0,25	4,28	8,12
15	S5	1,69	1,09	0,28	0,46	8,33	15,12
Total		26,96	15,5	4,02	7,12	153,51	295,08

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat diketahui waktu untuk proses produksi tiap *job* tiap mesin. Waktu proses tiap job pada mesin

ini yang nantinya akan digunakan dalam melakukan penjadwalan produksi kasur spons pada PT. Dwisutra Setia Agung. Hasil perhitungan waktu produksi untuk setiap *job* pada setiap mesin dapat dilihat pada Tabel 4

4.3 Penyelesaian Model Integer linear programming dengan Software LINGO 8.0 Unlimited

Permasalahan penjadwalan produksi kasur spons dengan model *integer linear programming* diselesaikan dengan bantuan software LINGO 8.0 Unlimited. Dalam penyelesaian menggunakan software LINGO 8.0 unlimited semua data, fungsi objektif dan fungsi kendala pada *model integer linear programming* diubah menjadi sintaks program sesuai dengan bahasa LINGO 8.0.

Hasil dari penyelesaian LINGO 8.0 dengan model integer linear programming berupa fungsi objektif yang didefinisikan untuk meminimasi makespan. Nilai makespan ini merupakan total dari seluruh waktu proses produksi pada semua *stage*. Berikut hasil nilai makespan dari 3 tipe jenis kasur pada PT. Dwisutra Setia Agung dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Lingo 8.0 Unlimited

Tipe Jenis Kasur	Makespan (jam)
<i>Deluxe</i>	72,05
<i>Excellent</i>	41,86
<i>Special</i>	26,97

Sedangkan untuk waktu proses yang dibutuhkan untuk menyelesaikan model *integer linear programming* dengan lingo 8.0 *unlimited* dapat dilihat pada Gambar 1 untuk tipe *deluxe*, Gambar 2 untuk tipe *excellent*, dan Gambar 3 untuk tipe *special*. Selain nilai makespan juga didapat urutan penjadwalan produksi kasur spons berdasarkan tipe *job deluxe, excellent, special*. Hasil urutan *job* ini didasarkan pada variabel keputusan $Y_{k,j,l}$ yang menjadi penentu. Dimana jika variabel keputusan $Y_{k,j,l}$ bernilai 1 maka *job* j dikerjakan terlebih dahulu daripada *job* l pada *stage* k. Jika bernilai $Y_{k,j,i}$ 0 maka *job* l dikerjakan terlebih dahulu daripada *job* j pada *stage* k.

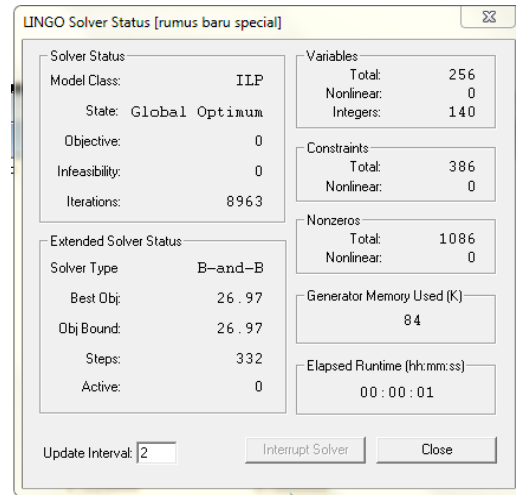
Hasil dari variabel keputusan $Y_{k,j,l}$ yang bernilai 1 diurutkan untuk mendapatkan urutan penjadwalan produksi kasur spons untuk tiap tipe. Urutan penjadwalan ini yang nantinya akan menentukan mana *job* yang harus dikerjakan terlebih dahulu dan mana *job* yang

akan dikerjakan terakhir dengan nilai makespan yang optimal. Hasil urutan *job* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Urutan Penjadwalan *Job* Tiap Tipe Kasur Spons

Tipe	Urutan Penjadwalan	Makespan
<i>Deluxe</i>	5-3-1-4-2	72,05 jam
<i>Excellent</i>	1-5-2-3-4	41,86 jam
<i>Special</i>	5-1-2-3-4	26,97 jam

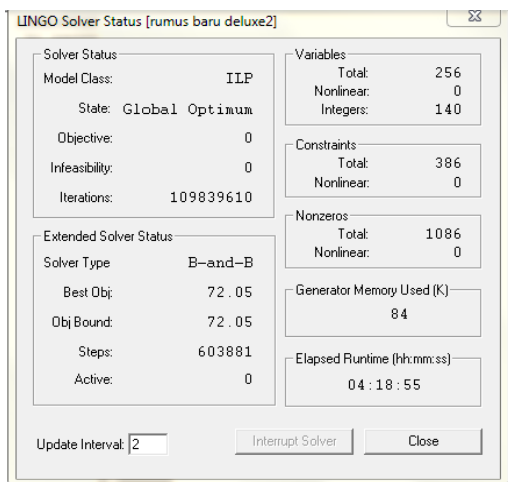
Selain urutan penjadwalan *job*, hasil dari lingo 8.0 unlimited juga dapat diketahui *hybrid flowshop* pada penjadwalan model *integer linear programming*. *Hybrid flowshop* ini dapat diketahui dari variabel keputusan $X_{k,j,i}$.



Gambar 3. Hasil Lingo 8.0 untuk Tipe *Special*

Tabel 7. Penggunaan Mesin Identik Berdasarkan Hasil Lingo Untuk *Deluxe*

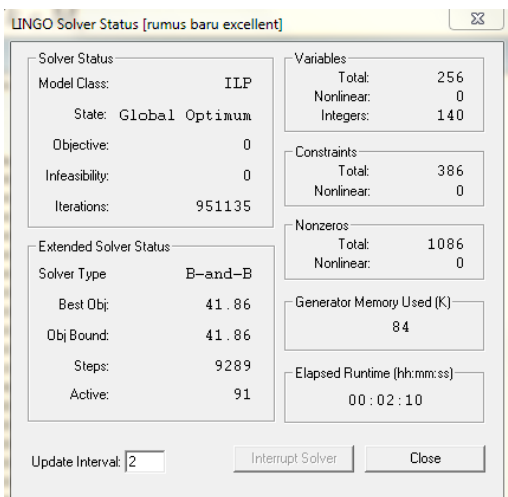
Tipe Kasur Spons	X(k,j,i) (stage 5)	Nilai Biner	X(k,j,i) (stage 6)	Nilai Biner
<i>Deluxe</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,2)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,2)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,1)	1
<i>Excellent</i>	X(5,1,2)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,1)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,1)	1	X(6,5,2)	1
<i>Special</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,2)	1



Gambar 1. Hasil Lingo 8.0 untuk Tipe *Deluxe*

Tabel 8. Penggunaan Mesin Identik Berdasarkan Hasil Lingo Untuk *Excellent*

Tipe Kasur Spons	X(k,j,i) (stage 5)	Nilai Biner	X(k,j,i) (stage 6)	Nilai Biner
<i>Deluxe</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,2)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,2)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,1)	1
<i>Excellent</i>	X(5,1,2)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,1)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,1)	1	X(6,5,2)	1
<i>Special</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,2)	1



Gambar 2. Hasil Lingo 8.0 untuk Tipe *Excellent*

Tabel 9. Penggunaan Mesin Identik Berdasarkan Hasil Lingo Untuk *Special*

Tipe Kasur Spons	X(k,j,i) (stage 5)	Nilai Biner	X(k,j,i) (stage 6)	Nilai Biner
<i>Deluxe</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,2)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,2)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,1)	1
<i>Excellent</i>	X(5,1,2)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,1)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,1)	1	X(6,5,2)	1
<i>Special</i>	X(5,1,1)	1	X(6,1,1)	1
	X(5,2,2)	1	X(6,2,2)	1
	X(5,3,1)	1	X(6,3,2)	1
	X(5,4,1)	1	X(6,4,2)	1
	X(5,5,2)	1	X(6,5,2)	1

Variabel keputusan $X_{k,j,i}$ ini menunjukkan *job j* pada *stage k* dikerjakan oleh mesin 1 yang mana ketika terdapat 2 *identical* mesin. Variabel keputusan $X_{k,j,i}$ bernilai 1 jika *job j* pada *stage k* dikerjakan oleh mesin 1 dan bernilai 0 jika *job j* pada *stage k* tidak dikerjakan oleh mesin 1.

Hasil dari variabel keputusan $X_{k,j,i}$ untuk tipe *deluxe* dapat dilihat pada Tabel 7, tipe *excellent* Tabel 8, dan untuk tipe *special* pada Tabel 9. Hasil dari variabel keputusan ini menunjukkan bahwa *job* tersebut akan dikerjakan pada mesin pertama atau kedua untuk jenis mesin yang memiliki lebih dari 1 mesin identik. Selain itu juga dapat untuk mengetahui bagaimana utilitas kedua mesin tersebut pada masing-masing prose dengan mesin identik.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dengan *model integer linear programming* menggunakan software Lingo 8.0 terdapat perbedaan antara hasil penjadwalan di perusahaan dengan hasil *model integer linear programming*.

4.4.1. Peramalan Produksi Kasur Spons

Peramalan yang dilakukan untuk jumlah permintaan kasur spons pada PT. Dwisutra Setia Agung menggunakan peramalan *exponential smoothing*. Pemilihan hasil peramalan didasarkan pada nilai terkecil untuk

setiap α dan pemenuhan *tracking signal* ± 4 .

Tabel 10. Tabel Hasil Peramalan dan Metode Terpilih

Job	Peramalan Permintaan (unit)	α terpilih
D1	119	ES $\alpha = 0,9$
D2	77	ES $\alpha = 0,7$
D3	79	ES $\alpha = 0,8$
D4	59	ES $\alpha = 0,3$
D5	124	ES $\alpha = 0,8$
E1	84	ES $\alpha = 0,6$
E2	54	ES $\alpha = 0,8$
E3	47	ES $\alpha = 0,8$
E4	39	ES $\alpha = 0,4$
E5	69	ES $\alpha = 0,1$
S1	44	ES $\alpha = 0,6$
S2	43	ES $\alpha = 0,1$
S3	35	ES $\alpha = 0,6$
S4	25	ES $\alpha = 0,9$
S5	46	ES $\alpha = 0,1$

Hasil peramalan dengan metode *exponential smoothing* untuk tiap *job* dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa untuk tipe *deluxe* permintaan tertinggi ada pada *job D5* dan terkecil pada *job D4*, sedangkan untuk tipe *excellent* terbesar adalah permintaan E1 dan terkecil E4, dan untuk tipe *special* permintaan terbesar ada pada *job S5* dan terkecil ada pada *job S4*. Hasil peramalan ini sama dengan pola data historis permintaan sebelumnya.

4.4.2. Lama Waktu Operasi Mesin

Waktu proses ini menunjukkan bagaimana utilitas kedua mesin identik tersebut. Ketika 1 mesin lebih sibuk daripada mesin kedua maka kerja dari mesin tersebut dapat dikatakan tidak seimbang

Tabel 11. Waktu Operasi Mesin Tipe *Deluxe*

No	Jenis Mesin	Jumlah (unit)	Lama Operasi Mesin (jam)	
			Mesin 1	Mesin 2
1	Mesin Timbang	1	26,96	-
2	Mesin Pengaduk	1	15,5	-
3	Mesin Mixer	1	4,02	-
4	Mesin Cetak	1	7,12	-
5	Mesin Potong	2	30,22	44,48
6	Mesin Jahit	2	40,75	102,09

Tabel 12. Waktu Operasi Mesin Tipe *Excellent*

No	Jenis Mesin	Jumlah (unit)	Lama Operasi Mesin (jam)	
			Mesin 1	Mesin 2
1	Mesin Timbang	1	26,96	-
2	Mesin Pengaduk	1	15,5	-
3	Mesin Mixer	1	4,02	-
4	Mesin Cetak	1	7,12	-
5	Mesin Potong	2	35,23	12,20
6	Mesin Jahit	2	24,34	66,38

Tabel 13. Waktu Operasi Mesin Untuk Tipe *Special*

No	Jenis Mesin	Jumlah (unit)	Lama Operasi Mesin (jam)	
			Mesin 1	Mesin 2
1	Mesin Timbang	1	26,96	-
2	Mesin Pengaduk	1	15,5	-
3	Mesin Mixer	1	4,02	-
4	Mesin Cetak	1	7,12	-
5	Mesin Potong	2	16,4	14,98
6	Mesin Jahit	2	13,28	47,14

Pada tipe *deluxe* untuk mesin potong, lama waktu operasi mesin sudah mendekati optimal. Lama waktu operasi yang diterima di mesin 1 dan mesin 2 hampir mendekati sama yaitu 30,22 jam dan 44,48 jam. Sedangkan untuk kondisi lama waktu operasi mesin jahit untuk tipe *deluxe* masih berat sebelah. Lama waktu operasi mesin1 lebih kecil dari lama waktu operasi mesin2. Perbedaan ini cukup jauh sehingga dapat dikatakan lama waktu operasi mesin yang diterima mesin 2 jauh lebih berat dari pada mesin 1 yaitu 40,75 jam untuk mesin 1 dan 102, 09 jam untuk mesin 2.

Berdasarkan Tabel 11,12 dan 13 untuk ketiga tipe produk lama waktu operasi pada mesin potong hampir terjadi keseimbangan. Pada tipe *deluxe* lama waktu operasi mesin 1 adalah 30,22 jam lebih kecil dari pada mesin 2 yang 44,48 jam. Sedangkan untuk tipe *excellent* lama waktu operasi mesin 1 adalah 35,23 jam lebih besar dari pada mesin 2 yang 12,20 jam. Pada tipe *special* lama waktu operasi mesin 1 adalah 16,4 jam lebih besar dari pada mesin 2 yang 14,98 jam. Sehingga jika ditotal maka lama waktu operasi mesinpotong untuk mesin 1 81,85 jam dan pada mesin 2 71,66 jam. Jadi, lama waktu operasi pada mesin potong dapat dikatakan hampir seimbang karena selisih lama waktu operasi pada mesin 1 dan mesin 2 tidak terlalu besar.

Sedangkan pada mesin jahit lama waktu operasi mesin 2 lebih besar dari pada mesin 1. Pada tipe *deluxe* lama waktu operasi mesin 1 40,75 jam lebih kecil dari pada mesin 2 yang 102,09 jam. Sedangkan untuk tipe *excellent* lama waktu operasi mesin 1 adalah 24,34 jam lebih kecil dari pada mesin 2 yang 66,38 jam. Pada tipe *special* lama waktu operasi mesin 1 adalah 13,28 jam lebih besar dari pada mesin 2 yang 47,14 jam. Sehingga jika ditotal maka lama waktu operasi mesin potong untuk mesin 1 78,37 jam dan pada mesin 2 215,51 jam. Jadi, lama waktu operasi pada mesin potong dapat dikatakan timpang atau berat sebelah pada mesin 2.

4.4.3. Model Integer Linear Programming

Penjadwalan *hybrid flowshop* pada PT. Dwisutra Setia Agung ini menggunakan model *integer linear programming*. Model *integer linear programming* yang digunakan merupakan model *integer linear programming* dicetuskan oleh (Quan, Wang, Jun & Jun, 2012) Penjadwalan dengan model *integer linear programming* ini memiliki kendala 6 *stage*, 5 *job*, dan untuk *stage* 5 dan 6 terdapat 2 mesin identik sehingga tergolong pada masalah *hybrid flowshop*. Untuk kendala yang ada pada penjadwalan ini diterima untuk semua tipe *job*. Sehingga kendala ini sangat diperhatikan dalam penjadwalan *hybrid flowshop*.

Contoh pemenuhan fungsi kendala untuk tipe *excellent* dengan hasil penjadwalan produksi 1-5-2-3-4 sebagai berikut:

1. Fungsi kendala 1 , setiap *job* harus melewati semua *stage* dan dikerjakan oleh 1 mesin pada setiap *stage*.

$$\sum_{i=1}^{i_k} X_{k,j,i} = 1 \quad X(5, 1, 1) + X(5, 1, 2) = 1 + 0 = 1 \quad (\text{pers. 15})$$

2. Fungsi kendala 2, starting *job* pada *stage* 1 lebih dari sama dengan 0

$$S_{j,1} \geq 0 \quad S(1,1) = 0 \quad (\text{pers.16})$$

3. Fungsi kendala 3, proses selanjutnya dapat dikerjakan ketika proses pada *stage* sebelumnya selesai dikerjakan.

$$S_{j,k+1} - S_{j,k} \geq P_{j,k} \quad S(1,2) - S(1, 1) \geq 1,6 \quad (\text{pers.17})$$

$$3,96 - 0 \geq 1,6$$

4. Fungsi kendala 4, Urutan *job* yang akan dikerjakan dahulu

$$Y_{k,j,l} - Y_{k,l,j} \leq 1 \quad (\text{pers.18})$$

$$Y(1, 1, 2) + Y(1, 2, 1) = 1 \\ 1 + 0 = 1$$

5. Fungsi kendala 5, *job* yang akan dikerjakan pada mesin yang sama dapat dikerjakan setelah *job* sebelumnya selesai dikerjakan.

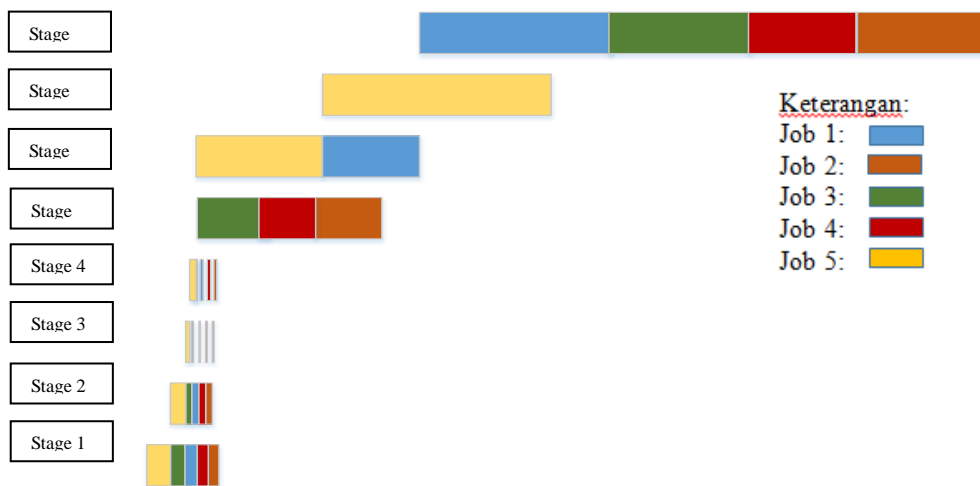
$$S_{l,k} - (S_{j,k} + P_{j,k}) + Ux(3 - Y_{k,j,l} - X_{k,j,i} - X_{k,l,i}) \geq 0 \quad (\text{pers.19})$$

$$1,6 - (0+1,6) + 1000000(3-1-1-1) >= 0$$

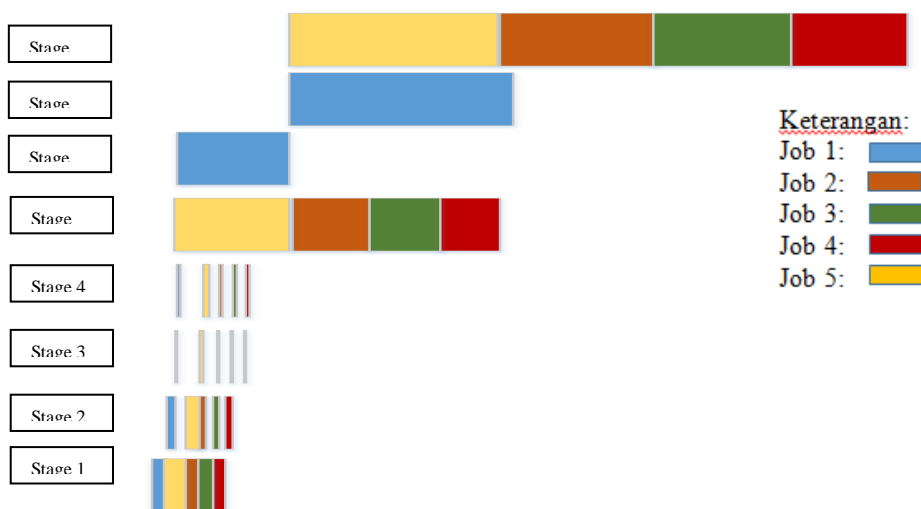
Berdasarkan contoh penyelesaian fungsi kendala dalam model *integer linear programming* tidak ada fungsi kendala yang dilanggar. Sehingga fungsi kendala di atas maka dapat mewakili model *integer linear programming* dan dapat memenuhi semua kendala yang harus dilewati oleh setiap *job*.

Hasil dari penjadwalan dengan model *integer linear programming* merupakan hasil yang optimal karena jika dibandingkan dengan

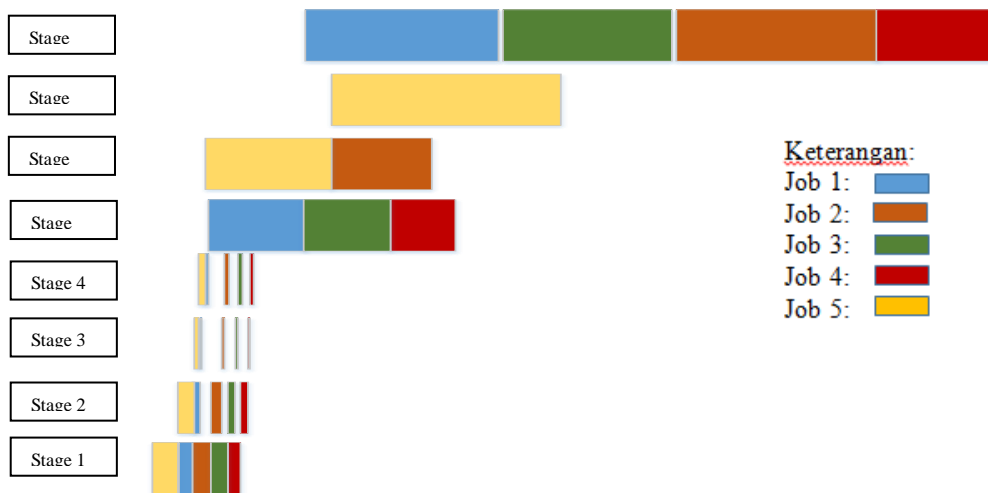
data *existing* perusahaan dapat dilihat bahwa *idle time* dengan model *integer linear programming* lebih kecil sehingga dapat didapatkan hasil yang optimal. Penggambaran dari hasil penjadwalan model *integer linear programming* dapat dipresentasikan dengan *gant chart* yang dapat dilihat pada Gambar 4 untuk tipe *deluxe*, Gambar 5 untuk tipe *excellent*, dan Gambar 6 untuk tipe *special*



Gambar 4. Gantt Chart MILP Tipe Deluxe (5-3-1-4-2)



Gambar 5. Gantt Chart MILP Tipe Excellent (1-5-2-3-4)



Gambar 6. Gantt Chart Existing Tipe Special(5-1-2-3-4)

4.4.4. Perbandingan Nilai Makespan

Makespan merupakan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job*, mulai dari *job* ke-*j*. Nilai makespan *existing* perusahaan dengan nilai *makespan* dengan *model integer linear programming* dapat dilihat pada Tabel 14.

Penurunan nilai makespan pada Tabel 14 ini dikarenakan dengan *model integer linear programming*, maka akan dilakukan pemilihan jadwal produksi yang optimal. Dimana, jadwal produksi yang optimal di tentukan dengan pemilihan urutan *job* yang didasarkan pada minimasi *idle time* mesin sehingga dengan penjadwalan urutan *job* yang optimal ini dapat meminimasi makespan sehingga terjadi penurunan dan dapat meminimalisir terjadinya *lost sale*.

Dengan adanya penurunan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* maka dapat lebih mengoptimalkan waktu yang ada. Sehingga PT. Dwisutra Agung dapat mengisi waktu yang sebelumnya terpakai pada penjadwalan *existing* dengan permintaan baru pelanggan sehingga *lost sale* yang cukup merugikan perusahaan dapat diatasi atau diminimalisir.

Tabel 14. Perbandingan Nilai Makespan

Tipe Kasur Spans	Completion time Existing (jam)	Completion time ILP (jam)	% penurunan
Deluxe	101,26	72,05	28,84% %
Excellent	74,96	41,86	44,15 %
Special	46,48	26,97	41,97 %

Tabel 15 Perbandingan Existing dan Model ILP

Tipe	Penjadwalan Existing Perusahaan	Penjadwalan Dengan Model Integer Linear Programming
Deluxe	2-4-1-3-5	5-3-4-1-2
Excellent	1-2-3-4-5	1-5-2-3-4
Special	1-2-3-4-5	5-1-2-3-4

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan maka didapatkan beberapa kesimpulan yang dapat diambil, antara lain :

1. Jadwal produksi yang dimiliki perusahaan kurang memperhatikan alokasi waktu dalam menyelesaikan *job*. Sehingga cukup sering terjadi *idle time* mesin. Hal ini menyebabkan waktu penyelesaian semua *job* cukup lama sehingga terjadi beberapa *lost sale* yang dapat merugikan perusahaan.
2. Penjadwalan *hybrid flowshop* dengan model *integer linear programming* didapatkan hasil bahwa urutan pengerjaan *job* untuk tipe *deluxe*, *excellent* dan *special* berbeda dengan penjadwalan *existing* perusahaan.
3. Nilai makespan berdasarkan penjadwalan perusahaan untuk tipe *deluxe* adalah 101,26 jam, tipe *excellent* 74,96 jam dan tipe *special* 46,48 jam. Sedangkan nilai makespan penjadwalan *hybrid flowshop* dengan model untuk tipe *deluxe*, 44,15% untuk tipe *excellent*, dan 41,97% untuk tipe *special*. Penurunan persentase dari nilai makespan ini dapat meminimalisir terjadinya *lost sale*. Hal ini dikarenakan, waktu yang dapat diminimalisir dengan model *integer linear programming* ini

dapat digunakan untuk mengerjakan permintaan pelanggan yang ditolak. *integer linear programming* adalah 72,05 jam untuk tipe *deluxe* 41,86 jam untuk tipe *excellent*, dan 26,97 jam untuk tipe *special*. Penurunan nilai makespan sebesar 28,84%

Urutan penjadwalan produksi dengan model *integer linear programming* ini merupakan urutan penjadwalan yang optimal. Dalam pengaturan urutan penjadwalan ini mengurangi idle time mesin sehingga dapat meminimasi nilai makespan atau total waktu penyelesaian semua *job*. Serta penggunaan kedua mesin yang dimiliki perusahaan lebih dioptimalkan.

Daftar Pustaka

- Baker, K. R & Trietsch. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Baroto, Teguh. (2002). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Daihani, D. U. (2001) *Komputerisasi Pengambilan Keputusan*. Bandung : PT.Elex Media Komputindo.
- Oguz, C., Janiak, A., & Lichtenstein, M. (2001). *Metaheuristic Algorithms for Hybrid Flow-Shop Scheduling Problem with Multiprocessor Task*. 4th Metaheuristic International Conference, (pp. 477-481). Porto.
- Quan, Wang & Jun. (2014). *A Novel Discrete Artificial Bee Colony Algorithm For The Hybrid Flowshop Scheduling Problem With Makespan Minimisation*, *Journal of Elsevier*
- Ruiz, R. dan Vazquez-Rodriguez, J.A. (2010). *The Hybrid Flow Shop Scheduling Problem*, *European Journal of Operation Research*, Vol. 205, No. 1, hal. 1-18.