

Penjadwalan *Flow Shop Plant P* dengan *Modified Hodgson Algorithm* di PT. X

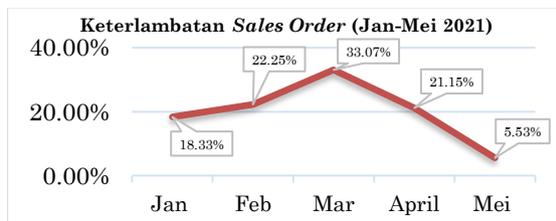
Adelia Leony Tanuwijaya¹, Herri Christian Palit²

Abstract: PT. X is a glass processing company located in Surabaya. Production system based on a customer order. Production could not work based on the schedule because the software cannot match the knowledge on the production floor. It will cause production cannot follow the schedule and inaccurate estimate completion time. This problem affected the percentage of lateness orders reached 33.07%. This project aims to make a proposed schedule that can minimize tardy jobs. The algorithm used in scheduling is Modified Hodgson Algorithm. This algorithm uses the remaining time of the process to decide the order of the jobs. The results showed that there was no difference between initial and proposed algorithm in almost each case, because the input of the cutting process between the present and proposed algorithm are quit the same. The implementation of proposed scheduling has been done in cutting, edge, drill, and notch process. Problems that often occurred are that the product is still in the previous process. It happened because the scheduling does not consider the transport time. The percentage of conformity between the proposed scheduling with realization for cutting, re-cut, edge square, edge irregular, and drill & notch processes is 100%, 33%, 32%, 35%, and 30%.

Keywords: flow shop scheduling, modified hodgson algorithm, number of tardy jobs

Pendahuluan

PT. X merupakan perusahaan pemrosesan kaca yang terletak di Kota Surabaya, Jawa Timur. Sistem produksi berdasarkan *customer order* atau bersifat *make to order*. Penjadwalan adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengalokasikan sumber daya yang ada untuk menjalankan proses produksi dalam jangka waktu tertentu. Sistem penjadwalan yang kurang sesuai dengan alur produksi menyebabkan departemen produksi kesulitan dalam mengikuti jadwal produksi yang ada dan tidak dapat mengestimasi waktu penyelesaian order.



Gambar 1. Persentase keterlambatan *sales order*

Penjadwalan produksi yang dilakukan berdasarkan *sales order* yang diterima oleh Departemen *Marketing*. Penjadwalan oleh Departemen *Production Planning and Inventory Control* (PPIC) juga tidak dilakukan secara menyeluruh melainkan hanya pada proses awal, yaitu proses potong atau *cutting*. Untuk proses lainnya, penjadwalan akan diatur oleh Departemen Produksi. Staf Departemen PPIC juga menginformasikan kepada Departemen Produksi mengenai pesanan yang perlu dikirim lebih cepat dari jadwal pengiriman yang sebenarnya.

Dampak yang timbul akibat permasalahan di atas adalah tidak dapat mengestimasi waktu penyelesaian *order*. Ini menyebabkan keterlambatan pesanan akibat *lead time* yang diberikan kepada *customer* hanya berdasarkan *standard lead time* dan tidak memperhatikan keadaan proses produksi. *Sales order* merupakan nomor yang menunjukkan *customer order* dan terdiri dari beberapa *job* atau produk sesuai detail produk. Keterlambatan *sales order* berkisar antara 5,53%-33,07% antara Januari - Mei 2021. Persentase keterlambatan tertinggi berada pada bulan Maret yaitu 33,07%. Data tersebut dapat dilihat pada grafik 1. Hal ini dapat menyebabkan pelanggan merasa kurang puas dengan pelayanan yang diberikan.

^{1,2} Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: adelialeony11@gmail.com, herry@petra.ac.id

Berdasarkan permasalahan dan data yang telah dianalisis, maka akan dilakukan penelitian untuk membuat usulan penjadwalan produksi yang dapat meminimalkan jumlah keterlambatan pesanan. Penjadwalan dilakukan dengan menggunakan *Modified Hodgson Algorithm*. Tujuan penjadwalan adalah meminimalkan jumlah keterlambatan pesanan. Tujuan ini berkaitan dengan *key performance indicator* (KPI) di Departemen PPIC. Penjadwalan produksi akan dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Excel*.

Metode Penelitian

Penjadwalan

Penjadwalan adalah aktivitas atau kegiatan yang dilakukan untuk mengalokasikan mesin atau pekerja untuk melakukan suatu pekerjaan dalam jangka waktu tertentu secara efektif dan efisien. Berikut ini adalah beberapa definisi penjadwalan dari para ahli, yaitu:

- a. Penjadwalan adalah kegiatan pengalokasian sumber daya atau mesin-mesin yang ada untuk menjalankan kumpulan tugas atau pekerjaan dalam jangka waktu tertentu (Baker [1]).
- b. Penjadwalan adalah rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber, baik waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan (Vollmann *et al.* [2]).
- c. Penjadwalan adalah pengaturan waktu dari suatu kegiatan operasi, secara umum penjadwalan bertujuan untuk meminimalkan waktu proses, waktu tunggu layanan, dan jumlah persediaan, serta penggunaan yang efisien dari fasilitas, tenaga kerja, dan peralatan. Penjadwalan disusun dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan yang ada (Herjanto [3]).

Klasifikasi Penjadwalan

Klasifikasi penjadwalan terbagi menjadi dua macam (Pinedo [4]) yaitu:

- a. Penjadwalan Mesin Tunggal (*Single Machine Scheduling*)
Penjadwalan hanya dilakukan untuk satu mesin dan merupakan kasus yang paling sederhana dibandingkan keadaan lainnya.
- b. Penjadwalan Paralel
 - Penjadwalan Mesin Identik Paralel (*Identical Machines in Parallel*)
 - Penjadwalan Mesin Non Identik Paralel (*Machines in Parallel with Different Speeds*)
 - Penjadwalan *Flow Shop*

- Penjadwalan pada mesin paralel yang tidak saling berhubungan (*Unrelated Machines in Parallel*)
- Penjadwalan *Flexible Flow Shop*
- Penjadwalan *Job Shop*
- Penjadwalan *Flexible Job Shop*
- Penjadwalan *Open Shop*

Dispatching Rules

Berdasarkan Pinedo [4], *dispatching rules* terbagi menjadi beberapa macam yaitu:

- a. *Service in Random Order* (SIRO)
- b. *Earliest Release Date* (ERD)
- c. *Minimum Slack* (MS)
- d. *First Come First Serve* (FCFS)
- e. *Earliest Due Date* (EDD)
- f. *Shortest Processing Time* (SPT)
- g. *Longest Processing Time* (LPT)
- h. *Weighted Shortest Processing Time* (WSPT)
- i. *Critical Path* (CP)
- j. *Largest Number of Successors* (LNS)
- k. *Shortest Setup Time* (SST)
- l. *Least Flexible Job* (LFJ)
- m. *Longest Alternate Processing Time* (LAPT)
- n. *Shortest Queue* (SQ)
- o. *Shortest Queue at Nest Operations first* (SQNO)

Kriteria Optimasi Penjadwalan

Terdapat berbagai macam kriteria optimasi penjadwalan yang dilakukan (Baker *et al.*, [5]) yaitu:

- a. *Makespan* (C_{max}): jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *order*.
- b. *Lateness* (L_j): waktu selisih antara waktu penyelesaian (C_j) dan *due date* (D_j). Nilai L_j yang bernilai negatif menunjukkan pesanan diselesaikan lebih cepat dari *due date*, begitu juga sebaliknya.
- c. *Completion time* (C_j): waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tiap pesanan.
- d. *Tardiness* (T_j): maksimal waktu keterlambatan *order*. Nilai ini tidak dapat bernilai negatif. Apabila terdapat pesanan yang diselesaikan lebih cepat, maka akan bernilai nol.
- e. *Number of tardy jobs*: jumlah pesanan yang terlambat.
- f. *Slack time* (S_j): waktu selisih antara waktu proses dan *due date*.
- g. *Unit penalty of job* (U_j): merupakan nilai unit dari pekerjaan yang terlambat. Apabila $C_j > D_j$, maka akan bernilai satu sedangkan $C_j < D_j$ akan bernilai nol.
- h. *Total weighted completion time* ($\sum W_j C_j$): total dari waktu penyelesaian dengan memperha-

- tikan prioritas atau bobot dari setiap pesanan.
- Total weighted lateness* ($\sum W_j T_j$): total dari waktu keterlambatan pesanan dengan memperhatikan prioritas atau bobot dari setiap pesanan.
 - Weighted number of tardy jobs* ($\sum W_j U_j$): total dari jumlah pekerjaan yang telat dan memperhatikan bobot tiap pekerjaan.
 - Earliness* (E_j): selisih waktu dari *due date* dan waktu penyelesaian pesanan. Apabila bernilai positif, maka pesanan diselesaikan terlambat sehingga bernilai nol. Jika bernilai negatif, berarti pesanan diselesaikan lebih cepat.

Moore-Hodgson Algorithm

Merupakan sebuah algoritma yang digunakan untuk meminimalkan jumlah pekerjaan yang terlambat (*number of tardy jobs*). Algoritma tersebut dapat digunakan untuk *single machine process* dan *flow shop*. Berikut merupakan cara kerja dari algoritma tersebut (Widodo [6])

- Urutkan pekerjaan berdasarkan *due date* dari yang terkecil
- Hitung total waktu proses tiap pekerjaan (T_j). t_{ij} adalah waktu proses produksi pekerjaan j di mesin i .

$$T_j = \sum_{i=1}^m t_{ij} \quad (1)$$

- Hitunglah *lateness*/waktu keterlambatan dari tiap pekerjaan dengan persamaan 2.

$$L_j = c_j - D_j \quad (2)$$

Apabila $L_j \leq 0$ berarti penyelesaian memenuhi batas akhir/*due date*

Apabila $L_j > 0$ berarti penyelesaian melewati batas akhir (terlambat)

- Apabila terdapat *job j* terlambat, maka carilah pekerjaan dengan waktu proses terlama sebelum *job j* tersebut. Pekerjaan dengan waktu terlama akan dieliminasi untuk dikerjakan setelah semua pekerjaan yang tidak terlambat diproses.
- Lakukan kembali tahap c dan d hingga tidak ada pekerjaan yang terlambat
- Tambahkan pekerjaan yang telah dieliminasi pada iterasi sebelumnya pada akhir urutan pekerjaan sesuai urutan eliminasi pekerjaan.
- Hitunglah jumlah pekerjaan yang terlambat (N_j)

$$N_t = \sum_{j=1}^n N_j \quad (3)$$

Jika $L_j > 0, N_j = 1$
 Jika $L_j \leq 0, N_j = 0$

Algoritma *hodgson* dimodifikasi menyesuaikan penjadwalan dinamik *flow shop* dinamakan *earliest adjusted due date* (EADD). Algoritma ini membagi urutan mesin *flow shop* menjadi beberapa mesin dalam *sub* permasalahan dan mengoptimalkan menggunakan modifikasi dari algoritma *Hodgson*. Perbedaan antara algoritma *Hodgson* dan EADD adalah tahapan eliminasi pekerjaan. Pada algoritma EADD, pekerjaan terlambat tidak akan dieliminasi karena urutan pekerjaan dapat berubah. Berikut ini tahapan pekerjaan dalam algoritma EADD (Lodree et al. [7]).

- Hitung d_{ijt} atau waktu yang ada sebelum *deadline order*. Perhitungan d_{ijt} dengan rumus di bawah ini.

$$d_{ijt} = d_i - t - \sum_{k=j+1}^m q_{ik} - \sum_{k=j+1}^m p_{ik} \quad (4)$$

Penjadwalan yang bersifat dinamis mengakibatkan estimasi waktu penyelesaian sulit dilakukan. Oleh karena itu, digunakan persamaan di bawah ini untuk mengestimasi waktu sisa pengerjaan produk.

$$d_{ijt} = d_i - \hat{c}_{ijt} + p_{ij} \quad (5)$$

Completion time (C_{ijt}) dapat diestimasi dengan persamaan 6.

$$\hat{C}_{ijt} = t + p_{ij} + \sum_{k=j+1}^m \hat{q}_{ik} + \sum_{k=j+1}^m p_{ik} \quad (6)$$

Keterangan:

t = waktu saat ini

d_i = *due date* dari job i

i = indeks *job*

j = indeks mesin

d_{ijt} = *adjusted due date* dari *job i* pada mesin j saat waktu t

\hat{C}_{ijt} = estimasi waktu penyelesaian *job i* pada mesin j saat waktu t

q_{ik} = jumlah waktu tunggu *job i* di antrean mesin k

\hat{q}_{ik} = estimasi jumlah waktu tunggu *job i* di antrean mesin k

p_{ij} = waktu proses *job i* di antrean mesin j

p_{ik} = waktu proses *job i* di antrean mesin k

- Hitunglah d_{min} atau waktu minimum *due date*.

$$d_{min} = \min\{d_{ijt} | d_{ijt} \geq p_{ij}\} \quad (7)$$

Apabila $d_{ijt} < p_{ij}$ maka

$$d_{min} = \min\{d_{ijt}|p_{ij} - d_{ijt}\} \tag{8}$$

Hasil dan Pembahasan

Usulan Penjadwalan Produksi di PT. X

Penjadwalan produksi diusulkan menggunakan algoritma *hodgson* yang telah dimodifikasi. Pemilihan algoritma memperhatikan kondisi alur produksi. Berikut ini tahapan pekerjaan dalam *modified hodgson algorithm* (Lodree et al. [7]).

- a. Hitung d_{ijt} atau waktu yang ada sebelum *deadline order*. Perhitungan d_{ijt} dengan rumus di bawah ini.

$$d_{ijt} = d_i - t - q_{ij} - p_{ij} \tag{9}$$

C_{ijt} diestimasi dengan persamaan 10

$$\hat{C}_{ijt} = t + p_{ij} + q_{ij} \tag{10}$$

Keterangan:

t = waktu saat ini

d_i = *due date* dari job i

d_{ijt} = *adjusted due date* dari job i pada mesin j saat waktu t

\hat{C}_{ijt} = estimasi waktu penyelesaian job i pada mesin j saat waktu t

q_{ij} = jumlah waktu tunggu job i di antrean mesin j

p_{ij} = waktu proses job i di antrean mesin j

- b. Urutkan pengerjaan order atau *job* sesuai dengan d_{ijt} atau waktu sisa *order*. Nilai d_{ijt} yang bernilai negatif berarti *order* telah terlambat.

Input Penjadwalan Produksi

Terdapat dua *input* atau masukan dalam penjadwalan, yaitu *Finished Goods Control Report* (FGCR) dan Laporan *Cutting Scheme Pattern Details*. FGCR merupakan laporan yang memuat informasi dari keseluruhan order hingga informasi data *work-in-process* yang berada di lantai produksi. Laporan *Cutting Scheme Pattern Details* adalah Laporan berisi detail pola potongan kaca dan digunakan untuk mengetahui pola potongan kaca agar mempermudah alur produksi dari proses *cutting* hingga *edge*. Satu *sales order* dapat berada pada beberapa pola potongan kaca.

Input data WIP berasal dari *finished goods cont-*

rol report (FGCR) dan *input* data bon bahan dari FGCR dan laporan *cutting scheme pattern details*. Informasi yang dibutuhkan untuk data WIP adalah nomor *sales order*, *line item*, nama customer, jenis produk, KOG (*Kind of Glass*), stasiun terakhir *order*, TS (*Shipped Date*), dimensi Kaca (*Width* dan *Height*) dan Tinta

Perancangan Penjadwalan Produksi di PT. X

Input data yang dibutuhkan berasal dari *Finished Goods Control Report* dan laporan *Cutting Scheme Pattern Details*. Kemudian, data dengan stasiun terakhir berupa amd (amandemen), *check*, *marketing* serta data *blanks* (kosong) dihapus. *Order* dengan stasiun terakhir berupa amandemen tidak diperhitungkan dalam penjadwalan karena alur proses yang tidak tentu. Lalu data akan dipindahkan ke *sheet* “WIP” sebagai *input* WIP. Informasi yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Input* data bon bahan

<i>Finished Goods Control Report</i> (Bon Bahan)	Laporan <i>Cutting Scheme Pattern Details</i> (Bon Bahan)
Nama Customer	Nomor Bon Bahan
Jenis Produk	Nomor <i>Sales Order</i>
KOG (<i>Kind of Glass</i>)	<i>Line Item</i>
Tinta	Kuantitas Potong
TS Date (<i>Shipped Date</i>)	Dimensi Kaca (<i>Width</i> dan <i>Height</i>)
Ketebalan Kaca	Pattern Bon Bahan

Penggabungan dilakukan karena terdapat informasi yang kurang lengkap pada laporan *cutting scheme pattern details* untuk melakukan proses penjadwalan. Penggabungan data dilakukan dengan melihat nomor *sales order* dan *line item* dari laporan *cutting scheme* dan mencocokkannya dengan FGCR. Apabila menemukan data yang sama, maka akan diambil informasi yang diperlukan pada Tabel 2. Setelah menemukan data yang sama, maka akan dilakukan kembali pencarian data dari data pertama hingga terakhir. Terdapat juga suatu kondisi *order* dari *plant Q* di proses di *plant P*. Ini terjadi karena kapasitas mesin *cutting* melebihi dimensi kaca, sehingga tidak dapat menggunakan mesin *cutting* yang berada di *plant Q*. Kondisi ini juga dapat terjadi akibat *order* terlalu sedikit, sehingga optimasi *raw glass* digabungkan dengan *order* di *plant P* jika memiliki ketebalan kaca yang sama atau hasil optimasi lebih baik menggunakan kaca berukuran jumbo yang hanya dapat diproses pada mesin *cutting* di *plant P*.

Tabel 2. Rancangan usulan penjadwalan produksi

Bon Bahan	No	Cust	Sales Order	Item	Pattern	Pallet	PRD	KOG	Tinta	Mal	W	H	Ketebalan	Sqm	Sqm2mm	IRR	Drill	Notch	Due-Date	Qty	C-1	C-2	Total Waktu	Total Waktu Antrean (djt)	Completion Time	On-time	Ready Time (t)	Waktu Sisa (djt)
1	11-1	A	1	1	PT	1					431	464	3	0.399968	1.199904				2/19/2021	2	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	22-16	B	2	16	PP	2					923	1423	3	4.969116	14.90735				2/19/2021	4	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	23-5	B	3	5	BT	3					320	1453	3	3.25472	9.76416				2/19/2021	7	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	24-3	B	4	3	PT	4					992	195	3	1.54752	4.64256				2/19/2021	8	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	25-18	B	5	18	PT	5					1,429	664	3	4.74428	14.23284				2/19/2021	5	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	26-13	B	6	13	PT	6					151	593	3	0.537258	1.611774				2/19/2021	6	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	27-5	B	7	5	PT	7					1,168	357	3	3.752784	11.25835				2/19/2021	9	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	28-6	B	8	6	PTTL	8					537	972	3	3.131784	9.395352				2/19/2021	6	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	29-12	B	9	12	PL	9					1,273	380	3	3.380318	10.15854				2/19/2021	7	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	210-3	B	10	3	BA	10					516	1,268	3	5.888592	17.66578				2/19/2021	9	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
2	211-6	B	11	6	BTTL	11					166	867	3	1.295298	3.885894				2/19/2021	9	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
3	312-10	C	12	10	BT	12					940	361	3	1.01802	3.05406				2/19/2021	3	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
3	313-11	C	13	11	PL	13					1,395	555	3	0.774225	2.322675				2/19/2021	1	0	0	0	0.00	2/15/21 00:00	v	2/15/21	345600.00
3	314-3	C	14	3	PT	14					206	1,314	3	2.165472	6.496416				2/20/2021	8	0	0	0	0.00	2/16/21 00:00	v	2/16/21	345600.00
3	315-14	C	15	14	PT	15					747	199	3	0.743265	2.229795				2/21/2021	5	0	0	0	0.00	2/17/21 00:00	v	2/17/21	345600.00
3	316-20	C	16	20	PT	16					1,223	969	3	9.480696	28.44209				2/22/2021	8	0	0	0	0.00	2/18/21 00:00	v	2/18/21	345600.00
3	317-6	C	17	6	PT	17					504	145	3	0.146516	0.43848				2/23/2021	2	0	0	0	0.00	2/19/21 00:00	v	2/19/21	345600.00

Jika data merupakan *order* dari *plant Q*, maka nama *customer* akan berubah menjadi *Q* dan tidak ada informasi yang dibutuhkan. Hal ini terjadi karena proses yang dibutuhkan oleh *order* dari *plant Q* hanyalah proses *cutting*, sehingga tidak memerlukan informasi yang detail mengenai *order*.

Tabel 3. Pembagian WIP berdasarkan proses terakhir

Stasiun Terakhir	Proses Berikutnya
<i>Cutting</i>	<i>Edge</i>
<i>Edge</i>	<i>Bend</i>
<i>Bend</i>	<i>Print</i>
<i>Print</i>	<i>Temper</i>
<i>Temper</i>	<i>Layup</i>
<i>Layup</i>	<i>Autoclave</i>
<i>Autoclave</i>	<i>Trim</i>
<i>Trim</i> (Jenis Produk <i>Flat Laminat</i> dan Total Ketebalan Kaca < 16 mm)	<i>Edge</i>

Berikut ini adalah pembagian data *work-in-process* (WIP) berdasarkan stasiun terakhir. *Input* stasiun terakhir didapatkan dari FGCR. WIP akan dimasukkan ke proses berikutnya hingga proses *autoclave*. Apabila stasiun terakhir *order* berada di proses *edge*, maka data WIP akan dimasukkan ke proses berikutnya, yaitu proses *bend* hingga *autoclave*. Jika stasiun terakhir *order* berada di proses *trim*, maka tidak akan dimasukkan ke dalam penjadwalan. Hal ini disebabkan karena *trim* adalah proses terakhir dari proses produksi, sehingga tidak memerlukan penjadwalan. Terdapat pengecualian untuk jenis produk *flat laminat* dan total ketebalan kaca < 16 mm dengan stasiun terakhir berada di stasiun *trim*, maka data akan dimasukkan pada proses *edge*. Ini terjadi karena alur proses produksi yang berbeda untuk jenis produk *flat laminat*. Perbedaan alur produksi berdasarkan total ketebalan kaca. Apabila ketebalan kaca < 16 mm, maka alur proses adalah *cut-laminat-edge*. Data bon bahan hanya akan dimasukkan ke proses *cutting*. Untuk *input* bon bahan ke proses lainnya selain *cutting*, dilakukan berdasarkan hasil *grouping pallet*. *Input* data untuk proses

trim juga berdasarkan hasil *grouping autoclave*. Kapasitas proses yang digunakan sebanyak 100 *pcs/batch*.

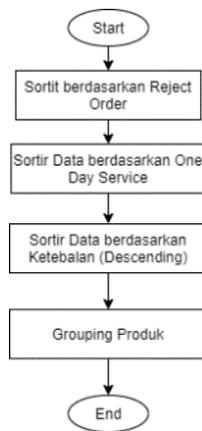
Langkah pertama adalah *user* memasukkan FGCR dan Laporan *Cutting Scheme Pattern Details* pada *sheet* “FGCR” dan “CutScheme”. *Input* Selanjutnya, *user* akan menekan tombol “Clear” pada *sheet* “WIP” terlebih dahulu untuk menghapus semua data yang ada. Kemudian, *user* menekan tombol “Scheduling” pada *sheet* “WIP” untuk memulai penjadwalan produksi.

Rancangan usulan penjadwalan produksi untuk semua proses dapat dilihat pada Tabel 2. Jumlah *input* data akan berjumlah sama untuk tiap proses, yaitu 22 data. Informasi yang dibutuhkan antara lain nomor bon bahan, nomor *sales order*, *line item*, KOG (*Kind of Glass*), *pattern* kaca, keterangan produk (*irregular*, *drill* dan *notch*), dimensi kaca (*width* dan *height*), jenis produk, tinta, *shipped date/ due date* dan *quantity order*. Kolom “No” menunjukkan *id* atau kode unik dari setiap *order* untuk mengintegrasikan antar proses dan membedakan tiap *order* berdasarkan nomor *pallet* dan stasiun terakhirnya. *Order* dengan nomor *sales order* yang sama tetapi berada di stasiun yang berbeda akan memiliki nomor yang berbeda. Kolom berikutnya setelah kolom *qty* (*kuantitas order*) merupakan perhitungan untuk menentukan urutan pengerjaan, waktu proses, waktu antrean dan waktu penyelesaian *order*. *dijt* adalah waktu sisa proses dari waktu saat ini hingga *shipped date* atau *due date*. Variabel ini yang menentukan urutan pekerjaan dari nilai *dijt* terkecil hingga terbesar. Semakin kecil nilai *dijt* berarti waktu sisa untuk pengerjaan produk semakin sedikit atau pekerjaan perlu segera diproses.

Urutan sortir pada proses *edge* dan *temper* tidak hanya memperhatikan waktu sisa setelah *ready time* tetapi juga ketebalan kaca. Hal ini agar mengurangi jumlah *setup* yang perlu dilakukan. Proses sortir untuk proses *edge* dilakukan sebanyak dua kali. Urutan sortir untuk proses *edge* adalah *ready time*, *pallet*, ketebalan dan waktu sisa (*dijt*). Kemudian, mencari *order*

pertama yang tidak terlambat untuk menyortir data setelahnya. Hal ini dilakukan agar memprioritaskan *order* yang telah terlambat agar diproses terlebih dahulu tanpa memperhatikan ketebalan kaca. Setelah itu, *order* akan disortir kembali dari *order* yang tidak terlambat. Urutan sortir kedua adalah *ready time*, *pallet* dan ketebalan.

Urutan sortir untuk proses *bend* dan *laminat* tidak memperhatikan informasi lainnya. Oleh karena itu proses sortir hanya berdasarkan *ready time* dan waktu sisa *order*. Kemudian, urutan sortir untuk proses *print* memperhatikan tinta serta dimensi kaca sebelum memperhatikan waktu sisa *order*. Proses *print* dilakukan memperhatikan dimensi kaca terbesar-terkecil.



Gambar 1. Flowchart proses cutting

Proses sortir pada proses *cutting* akan dilakukan oleh *user*. Urutan pengerjaan bon bahan pada proses *cutting* berdasarkan prioritas bon bahan yang telah disepakati dengan Departemen Produksi. Prioritas utama adalah *reject order*, kemudian *one day service*. Setelah itu, urutan prioritas berdasarkan ketebalan kaca dari terbesar-terkecil. Hal ini mempertimbangkan jumlah *setup* mesin yang diperlukan. Prioritas tersebut tidak memperhatikan *due date order*.

Tabel 3. Kapasitas *pallet*

Ketebalan	Kapasitas Kaca (pcs)
≥ 12 mm	18
10 mm	22
8 mm	25
≤ 6 mm	30

Kapasitas kaca terbagi berdasarkan ketebalan kaca, yaitu ≥ 12 mm, 10 mm, 8 mm dan ≤ 6 mm. Data tersebut didapatkan dari Departemen Produksi. Kapasitas ini menjadi acuan untuk pembagian kaca pada *pallet* dan juga

memperhatikan proses berikutnya serta nomor bon bahan.

Tabel 4. Klasifikasi kaca berdasarkan proses berikutnya

Mesin	Klasifikasi
Gosok <i>Square</i>	Bentuk kaca <i>square</i> , tidak menggunakan mal dan berukuran > 400 x 400 mm
Potong Ulang	Bentuk kaca <i>irregular</i> , menggunakan mal dan salah satu sisi berukuran > 1500 mm
Gosok <i>Irregular</i>	Bentuk kaca <i>irregular</i> dan salah satu berukuran > 1500 mm
	Bentuk kaca <i>irregular</i> , menggunakan mal dan berukuran ≤ 1500 x 1500 mm
	Kaca berukuran ≤ 400 x 400 mm
	Bentuk kaca <i>irregular</i> dan berukuran ≤ 1500 x 1500 mm
<i>Cutwind</i>	Jenis produk <i>windshield</i>

Produk akan dikelompokkan ke dalam *pallet* sesuai proses berikutnya dan ketebalan kaca. Tabel 4 menjelaskan mengenai klasifikasi kaca berdasarkan proses berikutnya. Proses berikutnya terbagi menjadi empat, yaitu gosok *square*, potong ulang, gosok *irregular* dan *cutwind*. Pengelompokan juga dilakukan dengan memperhatikan nomor bon bahan atau *cutting scheme*. Apabila nomor bon bahan berbeda tetapi memiliki ketebalan yang sama, maka akan dimasukkan dalam *pallet* yang berbeda. Hal ini terjadi karena optimasi yang dilakukan memperhatikan bon bahan agar jadwal proses *cutting* dapat berjalan sesuai dengan prioritas yang telah ditentukan.

Produk *grouping* juga akan dilakukan pada proses *temper*. Produk *temper* diproses dalam satu *batch* dengan ketebalan dan jenis kaca yang sama. Kapasitas *loading* mesin akan dihitung dalam satuan m². Hal ini untuk mengoptimalkan jumlah kaca yang dapat diproses dalam satu *batch*. Kapasitas *loading* untuk mesin T-1 dan T-2 adalah 10.752 dan 7.68 m².

Pembagian mesin juga berdasarkan jenis produk, yaitu T-1 (*Flat Tempered* dan *Flat Tempered Laminat*) dan T-2 (*Flat Tempered* dan *Flat Printed*). Pembagian mesin berlaku apabila kedua mesin berjalan. Penentuan mesin juga dilakukan berdasarkan jumlah waktu proses dan antrean terkecil serta memperhatikan jenis produk. Proses akan dilakukan pada mesin yang memiliki jumlah waktu proses dan antrean yang

terkecil. Apabila hanya satu mesin yang berjalan, maka tidak ada pembagian mesin *temper* dan tidak memperhatikan jenis produk. Untuk tipe produk *bending tempered* dan *bending tempered laminate* akan berada di dalam *batch* terpisah dengan kaca *flat* karena proses produksi yang berbeda.

Allowance Completion Time

Allowance atau kelonggaran diberikan untuk mengestimasi waktu penyelesaian *order* (*completion time*). Data *completion time* akan dibandingkan dengan *completion time* dari hasil perhitungan penjadwalan untuk mengetahui kelonggaran yang akan diberikan. Perhitungan dilakukan untuk setiap jenis produk yang ada. Data yang digunakan merupakan data *finished goods* pada bulan Juni 2021. Untuk jenis produk *cut size*, tidak akan dilakukan perbandingan karena pengerjaan sesuai dengan jadwal produksi.

Tabel 5. *Allowance completion time*

Jenis Produk	Allowance
<i>Preprocess</i>	1 hari
<i>Flat Tempered</i>	2 hari
<i>Flat Laminate</i>	3 hari
<i>Flat Tempered Laminate</i>	3 hari
<i>Bending Annealed</i>	5 hari
<i>Bending Tempered</i>	3 hari
<i>Bending Tempered Laminate</i>	2 hari
<i>Bending Laminate</i>	2 hari
<i>Flat Printed</i>	3 hari
<i>Windshield</i>	3 hari

Allowance berkisar antara 1-5 hari. Jenis produk *bending annealed* memiliki waktu *allowance* terbesar. Hal ini terjadi karena pembagian mesin dilakukan pada *shift* 1 proses produksi, sedangkan penjadwalan juga dilakukan untuk *shift* 1 proses produksi hari berikutnya. Sehingga, hasil penjadwalan produksi *shift* 1 tidak sesuai dengan keadaan di lantai produksi. Ini juga berlaku bagi produk *bending* lainnya.

Perbandingan Hasil Penjadwalan

Perbandingan hasil dilakukan menggunakan diagram. Tujuan dari uji tersebut adalah mengetahui apakah terdapat perbedaan antara keadaan awal dan usulan yang diberikan.

Hasil perbandingan antara keadaan awal dan usulan menunjukkan terdapat beberapa perbedaan tetapi tidak untuk semua keadaan yang ada.

Perbedaan hasil terdapat pada sampel 2 dan sampel 3 yaitu keadaan awal berjumlah 10 dan 9 dan keadaan usulan berjumlah 8 dan 7. Untuk sampel lainnya, tidak dapat perbedaan antara keadaan awal dan usulan. Hal ini terjadi karena urutan pengerjaan order pada proses *cutting* antara keadaan awal dan usulan sama. *Output* ini akan mempengaruhi *input* proses lainnya karena proses *cutting* merupakan proses pertama dalam proses produksi. Urutan pengerjaan *order* juga tidak hanya berdasarkan waktu sisa proses tetapi memperhatikan hal lainnya, seperti ketebalan kaca, jenis tinta dan sebagainya.

Hasil Implementasi

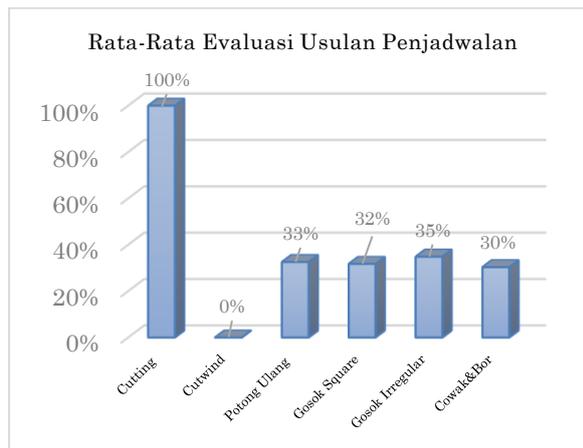
Implementasi penjadwalan usulan dilakukan secara bertahap mulai dari proses *edge* hingga proses *laminate*. Hasil implementasi pada beberapa proses, seperti *cutting*, *edge* serta cowak dan bor berjalan dengan baik. Kendala yang paling umumnya ditemui adalah produk belum dipindahkan ke proses berikutnya atau belum selesai di proses pada proses sebelumnya. Hal ini terjadi karena penjadwalan tidak memperhitungkan *transport time* dan proses potong tidak mengikuti jadwal potong. Proses potong merupakan proses pertama dalam proses produksi, sehingga *output* dari proses ini akan mempengaruhi proses lainnya. Oleh karena itu, proses berikutnya akan mengalami kendala terutama produk belum di proses pada proses sebelumnya.

Permasalahan lainnya berkaitan dengan proses *temper* yang tidak dapat dijalankan. Ini terjadi karena tidak memperhitungkan *transport time* antar proses, sehingga jadwal tidak sesuai dengan keadaan di lantai produksi. *Input* proses *temper* berupa *batch* sehingga perhitungan waktu penting agar jadwal produksi dapat berjalan dengan baik. *Feedback* berikutnya adalah *grouping batch* untuk proses *autoclave* tidak sesuai dengan kondisi proses produksi. Kapasitas mesin ini dipengaruhi oleh dimensi kaca, sehingga sulit untuk mengikuti jadwal yang ada. Hal tersebut juga berkaitan dengan peletakkan kaca di dalam mesin.

Evaluasi Usulan Penjadwalan Produksi

Usulan penjadwalan produksi dilakukan dengan menggunakan *modified hodgson algorithm* dengan tujuan meminimalkan jumlah keterlambatan pesanan. Kelebihan dari usulan penjadwalan produksi adalah penjadwalan dilakukan untuk semua proses dan waktu *running*

penjadwalan lebih cepat. Evaluasi usulan penjadwalan dilakukan dengan menghitung persentase antara jadwal dan realisasi di lantai produksi. Data evaluasi yang digunakan adalah hasil implementasi selama 12 hari dari tanggal 9 Juni-22 Juni. Evaluasi hanya dilakukan pada proses *cutting*, *edge* serta cowak dan bor karena implementasi pada proses lainnya belum berjalan dengan baik. Proses *edge* terbagi atas tiga, yaitu gosok *square*, gosok *irregular* dan potong ulang.



Gambar 2. Evaluasi usulan penjadwalan

Hasil evaluasi yang didapatkan menunjukkan proses *cutting* berjalan dengan baik dan tidak terdapat permasalahan dalam implementasinya. Proses *cutting* memiliki kecocokan antara jadwal produksi dan realisasi sebesar 100% berarti jadwal produksi berjalan sesuai urutan penjadwalan. Proses *cutwind* tidak memiliki *feedback* sehingga tidak ada hasil evaluasi untuk proses tersebut. Persentase kecocokan antara jadwal produksi dan realisasi untuk proses potong ulang, gosok *square*, gosok *irregular* serta cowak dan bor sebesar 33%, 32%, 35% dan 30%. Kendala yang ditemui adalah produk yang berada di proses sebelumnya sehingga tidak dapat dikerjakan sesuai urutan pengerjaan.

Simpulan

Hasil perbandingan penjadwalan antara kondisi awal dan usulan menunjukkan terdapat perbedaan tetapi tidak untuk semua kasus yang ada. Hal ini terjadi karena urutan pengerjaan *order* pada proses *cutting* antara keadaan awal dan usulan sama. Implementasi telah berjalan baik di proses *cutting*, *edge* serta cowak dan bor. Proses *grouping* di proses *autoclave* memiliki kendala berkaitan kapasitas yang dipengaruhi oleh dimensi kaca. Persentase kecocokan antara jadwal produksi dan realisasi untuk proses *cutting*, potong ulang, gosok *square*, gosok *irregular* serta cowak dan bor sebesar 100%, 33%, 32%, 35% dan 30%. Kendala yang umumnya ditemukan adalah produk belum selesai diproses pada proses sebelumnya. Ini terjadi karena tidak memperhitungkan *transport time*.

Daftar Pustaka

1. Baker, K. R., *Introduction to sequencing and scheduling*, Wiley, New York, 1974.
2. Vollmann, T. E., Berry, W. L., and Whybark, D. C., *Manufacturing planning and control systems*, McGraw-Hill, New York, 1997.
3. Herjanto, E., *Manajemen operasi*, Grasindo, Jakarta, 1999.
4. Pinedo, M. L., *Scheduling: Theory, algorithms, and systems*, 3rd ed., Prentice-Hall, New York, 2008.
5. Baker, K. R., and Trietsch, D., *Principles of sequencing and scheduling*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2009.
6. Widodo, D. S., Improve algoritma hodgson untuk meminimasi jumlah job terlambat pada penjadwalan flow shop, *Jurnal Teknik Industri*, 19(1), 2018, pp. 73–81.
7. Lodree, E., Jang, W., and Klein, C. M., A new rule for minimizing the number of tardy jobs in dynamic flow shops, *European Journal of Operational Research*, 159(1), 2004, pp. 258–263.