

Penggunaan Konsep Teori Konstrains pada Penjadwalan Produksi Studi Kasus pada PT. X

Muhammad Rusman*

Abstrak

PT. X merupakan perusahaan manufaktur bersifat *make to order* sehingga untuk dapat merespon setiap permintaan perlu dibuat suatu perencanaan dan penjadwalan produksi yang dapat memenuhi permintaan. Proses penjadwalan produksi dipengaruhi oleh kapasitas stasiun kerja yang mana kapasitas yang paling kecil akan menjadi kendala bagi keseluruhan sistem produksi. Untuk mengatasi kendala sistem, dilakukan pendekatan penjadwalan dengan menggunakan prinsip-prinsip *Theory of Constraints* (TOC). Stasiun kendala dapat ditemukan dengan menghitung total beban setiap stasiun kerja. Kemudian kendala ini diatasi dengan memberikan *time buffer* secukupnya di depan stasiun konstrain. Besar *buffer* yang diberikan dihitung dengan algoritma Zijm. Pada kasus PT.X pemberian *buffer* yang paling tepat adalah *buffer stock* yang diberikan pada stasiun pengiriman sehingga sistem produksi akan terlindungi dari fluktuasi dan gangguan yang terjadi pada sistem. Penjadwalan dengan menggunakan TOC menghasilkan jadwal produksi yang mampu merespon permintaan dan menghasilkan ukuran *buffer stock* pada stasiun pengiriman yang dapat melindungi sistem produksi.

Kata Kunci : Theory of Constraints, Make to Order, Buffer stock.

1. Pendahuluan

Pada tahun 1980-an *Theory of Constraints* disajikan sebagai metodologi untuk mengatur penjadwalan dan perencanaan produksi (Goldratt & Cox, 1986). TOC didasarkan pada prinsip bahwa tujuan ekonomi dari setiap perusahaan adalah untuk membuat uang, sekarang dan di masa mendatang, dan sistem kendala menentukan kapasitas untuk menghasilkan uang. Goldratt meresepkan lima langkah untuk mengaktifkan fokus proses perbaikan secara terus-menerus: a) mengidentifikasi kendala sistem, b) menentukan cara memanfaatkan sistem dari kendala, c) subordinat orang lain dengan segala keputusan dalam langkah b, d) memperbaiki sistem dari kendala, e) kembali ke langkah 1 jika sistem kendala yang berubah.

Dikaitkan dengan respon terhadap konsumen, sistem manufaktur dapat diklasifikasikan menjadi empat macam yaitu *make-to-stock* (MTS), *make-to-order* (MTO), *assemble-to-order* (ATO), dan *engineer-to-order* atau ETO (Bertand *et al.*, 1990). Diantara keempat sistem manufaktur di atas, sistem manufaktur MTO merupakan sistem yang paling tepat untuk memproduksi barang yang sesuai dengan karakteristik diatas. Berdasarkan karakteristik pemesanan dari konsumen maka MTO dibagi atas MTO *repetitif* dan MTO *non-repetitif*. Pada sistem manufaktur MTO *non-repetitif*, umumnya memiliki spesifikasi yang beragam dengan jumlah yang kecil. Sedangkan MTO *repetitif* biasanya pesanan berulang dengan spesifikasi yang sama dalam jumlah yang besar.

* Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar

Penjadwalan order yang turun ke lantai produksi dilakukan untuk meminimalkan waktu *set-up* dan menjaga sistem dapat terus berjalan. Metode TOC yang dikembangkan oleh Goldratt & Cox (1986) dengan menggunakan gabungan antara *pull system* dan *push system* untuk menyeimbangkan aliran produksi. Dengan cara ini akan mengurangi *work in process* dan meningkatkan *throughput*.

Penentuan waktu *release order* kelantai pabrik merupakan faktor penentu pada sistem manufaktur *make-to-order* untuk mengendalikan order-order yang ada dilantai pabrik seperti yang sistem produksi yang terdapat pada PT.X. Banyak cara untuk menjadwalkan order ke lantai pabrik, tergantung kepada jenis sistem manufaktur dan hasil yang diinginkan. Salah satu metode penjadwalan adalah TOC. Algoritma yang digunakan dalam TOC ditujukan untuk mengatur jadwal produksi pada stasiun konstrain, untuk dapat menentukan saat *release* untuk setiap order.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi stasiun kerja yang menjadi kendala (*constrain*) dalam suatu sistem produksi.
2. Menghitung besar *buffer* yang diberikan kepada stasiun kendala dan “*buffer stock*” pada stasiun pengiriman dengan “algoritma Zimj”.
3. Mengatur rencana produksi (jadwal produksi) berdasarkan kapasitas kemampuan produksi stasiun kendala (*constrain*) dengan metode *drum-buffer-rope* sesuai prinsip TOC.

2. Konsep Dasar *Theory of Constraints*

Theory of Constraints (TOC) yang diperkenalkan oleh dr. Eliyahu Goldratt (Goldratt & Cox, 1986), merupakan suatu filosofi manajemen yang berdasarkan prinsip-prinsip pencapaian peningkatan terus menerus (*continous improvement*) melalui pemusatan perhatian pada konstrain sistem. Suatu konstrain sistem membatasi performansi dari sistem tersebut, sehingga semua upaya diarahkan untuk memaksimalkan performansi dari konstrain tersebut.

Peningkatan *throughput* dengan menggunakan TOC dikenal dengan 5 langkah TOC untuk memperbaiki sistem (Fogarty *et al.*, 1991) yaitu:

1. Identifikasikan konstrain sistem (*identifying constraint*)
2. Eksploitasi konstrain (*exploiting constraint*)
3. Subordinasikan semua bagian lain ke stasiun konstrain (*subordinate all parts of the manufacturing system*)
4. Tingkatkan kemampuan stasiun konstrain untuk memecahkan masalah (*elevating constraint*)
5. Jika konstrain sudah terpecahkan dan muncul konstrain baru maka kembali ke langkah 1.

Langkah-langkah perbaikan yang diterapkan TOC ditekankan pada pemusatan perhatian pada stasiun konstrain dan stasiun non konstrain akan mengikuti stasiun konstrain. Hal ini akan mempermudah proses penjadwalan karena cukup hanya menjadwalkan stasiun konstrain dan stasiun lain akan menyesuaikan.

3. Pendekatan Penjadwalan TOC

Penjadwalan untuk sistem *make to order* (MTO) mempunyai tingkat kesulitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem manufaktur *make to stock* (MTS), karena adanya ketidakpastian mengenai kedatangan dan jenis produk yang akan diterima. Selain itu variasi produk yang ada menyebabkan terjadinya fluktuasi beban kerja pada setiap mesin.

Setiap sistem produksi memerlukan beberapa titik kendali (*key points*) untuk mengendalikan produk yang melewati sistem tersebut. Jika sistem itu mempunyai konstrain

(*constraints*) maka konstrain tersebut merupakan tempat yang paling baik untuk dikendalikan karena dia membatasi kemampuan keseluruhan sistem. Suatu konstrain didefinisikan sebagai suatu stasiun daya yang tidak memiliki kapasitas untuk memenuhi permintaan, oleh karena itu salah satu alasan untuk menggunakan konstrain sebagai tempat kendali (*control point*) adalah untuk meyakinkan agar operasi sebelumnya tidak memproduksi lebih atau menghasilkan WIP (*work in process inventory*) yang tidak tertangani.

Terdapat dua hal yang harus dilakukan terhadap konstrain, yaitu:

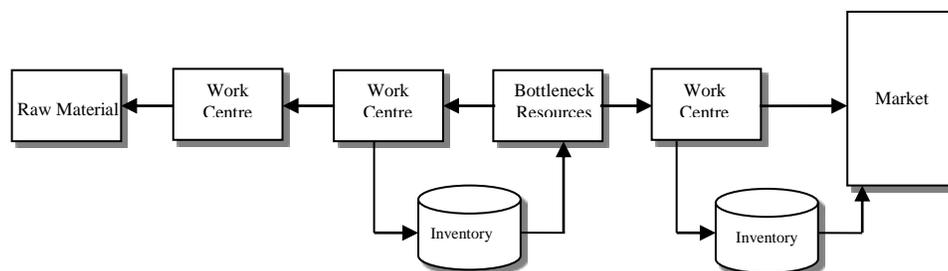
1. Menjaga atau menyiapkan suatu “*buffer inventory*” didepan stasiun konstrain tersebut.
2. Mengkomunikasikan kepada operasi paling awal untuk membatasi produksi sesuai jumlah kemampuan dari konstrain itu. Proses komunikasi ini disebut “*rope*”.

Dengan demikian dalam konsep TOC dikenal istilah “*drum-buffer-rope*”, yang merupakan teknik umum yang digunakan untuk mengelola stasiun-stasiun kerja guna meningkatkan kemampuan dari sistem.

Metode Umble dan Srikanth (Umbel *et al.*, 1996) merupakan salah satu contoh penjadwalan dengan menggunakan pendekatan metode TOC yang meningkatkan utilisasi stasiun konstrain dengan mengurangi waktu *set up*. Metode ini dirancang untuk dapat memenuhi permintaan yang melebihi kapasitas. Berdasarkan urutan proses (*drum*) *order* yang telah dijadwalkan pada stasiun konstrain, maka perlu ditentukan saat *release order* ke rantai produksi (*rope*). Penentuan besarnya *buffer time* dalam penelitian ini akan dilakukan dengan “algoritma Zijm” (Zijm, 1994). Algoritma ini merupakan algoritma untuk memperkirakan *lead time* dengan menggunakan pendekatan antrian. Setiap *order* yang masuk ke rantai produksi mungkin tidak langsung diproses, tetapi menunggu *order* lain yang sedang diproses. Besarnya kemungkinan *order* harus menunggu sebelum diproses dan lamanya waktu *order* tersebut menunggu *order* lain yang sedang diproses, tergantung kepada beban kerja yang ada pada stasiun kerja tersebut dan dengan sendirinya waktu tunggupun akan semakin besar.

Hasil perkiraan panjang antrian merupakan perkiraan kemungkinan proses produksi pada suatu stasiun kerja terhambat, karena adanya *order* lain yang sedang dikerjakan. Hambatan yang dialami *order* pada stasiun non-konstrain dapat mengakibatkan *order* tersebut terlambat pada stasiun konstrain. Panjang antrian pada stasiun non-konstrain sebelum stasiun konstrain dijumlahkan menjadi *buffer time* untuk stasiun konstrain. Penentuan besarnya *buffer time* ini untuk menjaga utilisasi stasiun konstrain dari fluktuasi yang dialami sistem. Ilustrasi *buffer* stasiun kendala dan stasiun pengiriman diberikan pada Gambar 1 (Zijm, 1994).

Perkiraan *lead time* pada algoritma zijm mempunyai dua komponen, yaitu waktu proses dan perkiraan waktu tunggu. Selisih antara perkiraan *lead time* dengan waktu proses standar merupakan waktu tunggu yang akan menjadi *buffer time*. Perkiraan waktu tunggu sebelum stasiun non-konstrain akan menjadi *buffer time* bagi stasiun konstrain dan waktu tunggu pada stasiun setelah stasiun konstrain menjadi *buffer time* bagi pengiriman.



Gambar 1. Sistem produksi *push* dan *pull* system.

4. Algoritma Antrian Metode Zijm

Perkiraan *lead time* distasiun kerja ditentukan dengan menggunakan Algoritma Zijm, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Langkah 1. Hitung laju kedatangan *order* di stasiun kerja

$$\lambda_{jk}^{(h)} = \frac{D^{(h)}}{Q^{(h)}} \delta_{jk}^{(h)} \quad (1)$$

Karena setiap *order* yang datang adalah unik, maka laju permintaan *order* adalah kebalikan dari jumlah jam kerja atau jumlah mesin atau jam kerja orang pada sistem tersebut selama manufacturing *lead time* (MLT) *order* tersebut. MLT *order* adalah pengurangan *lead time* dengan saat release *order* tersebut ke lini produksi. Laju kedatangan dinyatakan dengan satuan tertentu, tergantung dengan satuan penjadwalan yang dilakukan. Dalam hal ini satuannya adalah jam. Persamaan (2) merupakan persamaan untuk menghitung laju kedatangan permintaan pada algoritma yang diusulkan. Sedangkan ukuran lot yang digunakan adalah satu karena penjadwalan yang dilakukan mempunyai satuan *order*, bukan satuan unit produksi.

$$D^{(h)} = \frac{1}{MLT} = \frac{1}{(d^{(h)} - r^{(h)})m} \quad (2)$$

Langkah 2. Hitung waktu proses yang dibutuhkan oleh sebuah *order*.

$$P_{jk}^{(h)} = \tau_{jk}^{(h)} + Q^{(h)} a_{jk}^{(h)} \quad (3)$$

Langkah 3. Hitung rata-rata beban kerja di stasiun kerja tersebut yang merupakan jumlah dari hasil kali laju kedatangan dan waktu proses setiap *order*.

$$\rho_j = \lambda_j \cdot E[\rho_j] = \lambda_j \sum_{h,k} \frac{\lambda_{jk}^{(h)}}{\lambda_j} P_{jk}^{(h)} = \sum_{h,k} \lambda_{jk}^{(h)} P_{jk}^{(h)} \quad (4)$$

Langkah 4. Hitung ekspektasi rata-rata waktu untuk setiap *order* menunggu dan mengantri di stasiun kerja.

$$E[w_j] = \frac{\sum_{h,k} \lambda_{jk}^{(h)} \cdot (P_{jk}^{(h)})^2}{2(1 - \rho_j)} \quad (5)$$

Langkah 5. Hitung ekspektasi rata-rata *lead time* produksi operasi *k order h* di stasiun *j*.

$$E[T_{jk}^{(h)}] = E[w_j] + P_{jk}^{(h)} \quad (6)$$

Langkah 6. Hitung ekspektasi rata-rata *lead time order h*.

$$E[T^h] = \sum_{jk} \delta_{jk}^{(h)} E[T_{jk}^{(h)}] \quad (7)$$

Algoritma Zijm berfungsi memperkirakan *lead time* stasiun kerja sebelum stasiun konstrain dan *lead time* setelah stasiun konstrain sampai stasiun sebelum stasiun pengiriman. Oleh karena itu ekspektasi *lead time order h* yang diperkirakan adalah *lead time* stasiun kerja sebelum stasiun konstrain dan *lead time* setelah stasiun konstrain sampai stasiun sebelum stasiun pengiriman. Asumsi yang digunakan dalam penjadwalan ini adalah

- Sistem mempunyai permintaan pada sekitar kemampuan kapasitas sistem, bisa lebih besar atau lebih kecil.
- *Order-order* yang akan dijadwalkan telah diketahui *due date*-nya, dan waktu prosesnya.

5. Algoritma Penjadwalan TOC

Algoritma yang digunakan akan mengakomodasikan beberapa karakteristik sistem manufaktur MTO *repetitif* yang umum. Disamping itu perlu ditentukan saat *release* ke lantai produksi secara tetap agar stasiun konstrain tidak terganggu. Oleh karena itu algoritma tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Penjadwalan *order-order* pada stasiun konstrain. Penjadwalan ini dilakukan untuk menemukan solusi yang layak.
2. Penentuan saat *release order* ke lantai produksi. Saat *release* ini didalam manajemen *drum-buffer-rope* sebagai komunikasi (*rope*) ke lini produksi untuk menurunkan *order* ke lantai produksi, sehingga meminimumkan *work in process*.

Ada 4 langkah untuk memperkirakan waktu manufaktur MTO berdasarkan model penjadwalan DBR yang dikembangkan berdasarkan prinsip TOC, yaitu:

1. Inisialisasi, tahap untuk menentukan kondisi pabrik sebelum pesanan dijadwalkan, termasuk kondisi pesanan yang diterima dan akan dikerjakan. Menggunakan prosedur perkiraan total waktu proses.
2. Penentuan stasiun konstrain, tahap untuk menentukan stasiun yang menjadi stasiun konstrain berdasarkan beban yang harus dikerjakan dilantai pabrik pada saat pesanan diterima.
3. Pengaturan stasiun konstrain, tahap untuk mengatur pengerjaan beban pesanan pada stasiun konstrain sehingga dapat beroperasi maksimal. Jadwal di stasiun konstrain akan menjadi jadwal pengerjaan beban pesanan di seluruh lantai pabrik. Menggunakan prosedur waktu menunggu Zijm untuk memperkirakan besarnya *buffer time* yang harus diberikan di depan stasiun konstrain dan *buffer stock* pada stasiun pengiriman.
4. Penentuan jadwal produksi rinci, tahap untuk mengatur pengerjaan beban pesanan pada stasiun kerja lainnya dengan mengikuti jadwal stasiun konstrain. Meliputi kapan saatnya menurunkan material/pesanan ke lantai pabrik dan penentuan waktu manufaktur.

Tabel 1. Definisi notasi yang digunakan.

Notasi	Keterangan
H	order h ($h=1,2,\dots,n$)
j	mesin j ($j=1,2,\dots,m$)
$\lambda_{jk}^{(h)}$	laju kedatangan pesanan h di stasiun j untuk operasi k
$D^{(h)}$	laju permintaan dari pesanan h
$Q^{(h)}$	Ukuran lot produksi
$\delta_{jk}^{(h)}$	1; jika operasi k dari pesanan h dilakukan pada stasiun j 0; Jika salah satu syarat diatas tidak terpenuhi
$a_{jk}^{(h)}$	waktu proses/unit untuk operasi k dari pesanan h yang dilakukan di stasiun j
$\tau_{jk}^{(h)}$	waktu persiapan (<i>set-up time</i>)
$p_{jk}^{(h)}$	proses operasi k dari pesanan h yang dilakukan di stasiun j
ρ_j	beban kerja di stasiun j
E_j	waktu tunggu dalam antrian di stasiun j
$L_{jk}^{(h)}$	banyaknya lot pesanan h dalam antrian dan dalam proses di stasiun j untuk operasi k .
t_d	waktu kedatangan pesanan ke lantai pabrik setelah diterima perusahaan.

t_s	waktu sekarang (aktual)
T_j	waktu stasiun selesai mengerjakan pesanan h
$B_{jk}^{(h)}$	beban stasiun j untuk memproses operasi k dari pesanan h
B_j	beban total stasiun j untuk memproses semua pesanan h
$I^{(h)}$	operasi dari pesanan h yang dilakukan pada stasiun konstrain
c	stasiun konstrain
$P_{el}^{(h)}$	waktu untuk mengerjakan operasi 1 dari pesanan h di stasiun konstrain
$f_{jk}^{(h)}$	waktu penyelesaian operasi k dari pesanan h di stasiun j
$S_{jk}^{(h)}$	waktu awal pengerjaan operasi ke- k dari pesanan h di stasiun j
$dd^{(hh)}$	saat kirim pesanan h
$Pt(h)$	total waktu proses dari pesanan h

6. Hasil Penelitian dan Diskusi

6.1. Perhitungan Waktu Proses Produksi

PT. X menghasilkan banyak variasi design produk sehingga waktu proses produksi sangat bervariasi sesuai dengan spesifikasi produk. Dalam pengambilan data, waktu proses produksi yang digunakan adalah data yang dibuat oleh perusahaan khususnya departemen produksi. Waktu proses ini telah dibagi-bagi berdasarkan golongan produk sehingga waktu standar proses produksi adalah waktu rata-rata yang dibuat berdasarkan golongan produk tersebut. Stasiun kerja slitting dan bag making tidak dimasukkan dalam perhitungan karena dianggap kapasitas sangat besar sekali. Beban kerja diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban kerja pada setiap stasiun.

No	Stasiun Kerja	Beban Total (menit)
1	GR-06	6908,28
2	GR-08	17059,481
3	EC-01	8969,9
4	EC-02	0
5	EC-03	7235,03
6	TDM	10992,1
7	DRY	5795,71

6.2. Penentuan Letak Kendala (*Konstrain*)

Dalam *Theory of Constrain* penentuan letak kendala adalah merupakan langkah awal, dengan presposisi bahwa setiap sistem yang ada didunia ini pasti dibatasi oleh satu kendala yang membatasi kemampuan seluruh sistem untuk berjalan optimal termasuk dalam suatu sistem produksi.

Ada berbagai cara yang dilakukan untuk menentukan letak stasiun kendala, salah satunya adalah berdasarkan kapasitas produksi dari satu sistem, seperti yang akan digunakan dalam penelitian ini. Kendala-kendala yang lain yang akan menyebabkan keterbatasan sistem ini seperti faktor manusia, kerusakan mesin, transportasi, dan lain sebagainya.

6.3. Menghitung Panjang *Buffer* pada Stasiun Kendala

Panjang *buffer* yang diberikan didepan stasiun konstrain dihitung berdasarkan jumlah waktu tunggu stasiun kerja sebelum stasiun konstrain dan waktu tunggu stasiun kerja setelah stasiun konstrain menjadi *buffer* pada stasiun pengiriman. Penghitungan panjang *buffer* menggunakan algoritma antrian yang dikembangkan Zijm. Pembuatan algoritma secara *heuristik*

matematika akan memberikan suatu solusi praktis pada sistem produksi. Solusi ini bukanlah suatu solusi yang optimum seperti halnya *sophistic* matematik yang banyak dikembangkan pada model-model perencanaan produksi seperti program linier, dll. Algoritma ini akan memberikan suatu solusi yang praktis namun demikian tetap memiliki keterbatasan yang perlu dikembangkan dan disesuaikan pada situasi sistem produksi yang ada.

Pada penelitian ini *buffer* yang diberikan pada stasiun kendala dan stasiun pengiriman, sedangkan Goldrat mengusulkan pemberian *buffer* pada tiga area utama pada lingkungan internal sistem manufaktur yaitu pada stasiun kendala, *final assembly* dan stasiun pengiriman. Dalam penelitian ini pemberian *buffer* dilakukan pada stasiun kendala dan stasiun pengiriman.

Jika ternyata didalam beberapa *routing* operasi terjadi kekurangan panjang *time buffer* maka dilakukan penambahan panjang *buffer* dengan mengalikan panjang *buffer* yang diberikan dengan besarnya waktu tunggu yang diberikan melalui perhitungan waktu tunggu prosedur Zijm. Dan sebaliknya jika dalam beberapa *routing* tidak pernah terjadi kekurangan waktu tunggu (panjang *buffer*) maka perlu dievaluasi panjang *time buffer* yang diberikan pada stasiun konstrain dan atau stasiun konstrain yang ditentukan adalah salah. Jika terjadi kesalahan ini maka perlu dilakukan perhitungan ulang atau mengevaluasi ulang sistem untuk menentukan stasiun yang menjadi merupakan stasiun konstrain. Tabel 3 memberikan hasil perhitungan panjang *buffer*.

Tabel 3. Waktu tunggu pada setiap stasiun.

Stasiun kerja	Waktu tunggu (w_i)
EC-01	3194.776
EC-02	0
EC-03	3971.933
TDM	8773.76
DRY	2613.97
Total	18554.44

6.4. Penentuan Jadwal Produksi Rinci

Dalam penjadwalan berdasarkan *Drum-Buffer-Rope*, irama produksi ditentukan oleh stasiun kendala yang disebut juga dengan *drum*. Sehingga penjadwalan dan perencanaan produksi ditentukan (sebagai titik point) oleh stasiun kendala. Sehingga pertama sekali dilakukan penjadwalan ditentukan pada stasiun kendala kemudian dilakukan penjadwalan ke hulu dengan *backward scheduling* dan ke hilir dengan *forward scheduling*. Jadwal ke hulu akan menjadi *pull system* seperti layaknya yang terjadi pada JIT yaitu stasiun kendala menjadi stasiun konsumen yang harus dilayani oleh stasiun-stasiun kerja sebelumnya. Stasiun kendala akan menarik produk dari stasiun-stasiun yang ada di hulu. Ke arah hilir dari stasiun kendala akan menjadi *push system* seperti yang terjadi pada MRP, yaitu stasiun kendala akan mendorong stasiun-stasiun yang ada di hilir untuk berproduksi.

Dalam pendekatan DBR ini, penjadwalan dapat disederhanakan menjadi tiga jenis keputusan yaitu : jadwal sumber pembatas, *buffer time*, dan saat turun (*release time*). Sekali sumber pembatas dikenali, jadwal sumber pembatas dapat dibangun untuk menyusun pekerjaan-pekerjaan yang harus dilakukan. Biasanya susunan ini mengikuti urutan saat kirim pesanan, *due date* tetapi dalam penelitian ini penyusunan order pada stasiun konstrain dilakukan dengan SPT (*Shortest Processing Time*). Kemudian penurunan setiap produk dapat dihitung mundur dari jadwal sumber pembatas dengan memasukkan kumulatif oleh sumber-sumber sebelum pembatas dan panjang protective *buffer* yang dikehendaki. Dalam penelitian ini ditemukan stasiun konstrain pada stasiun produksi pertama sehingga *release time order* ke lantai produksi adalah *release time* pada stasiun konstrain akibatnya komunikasi (*rope*) ke stasiun pertama adalah komunikasi pada

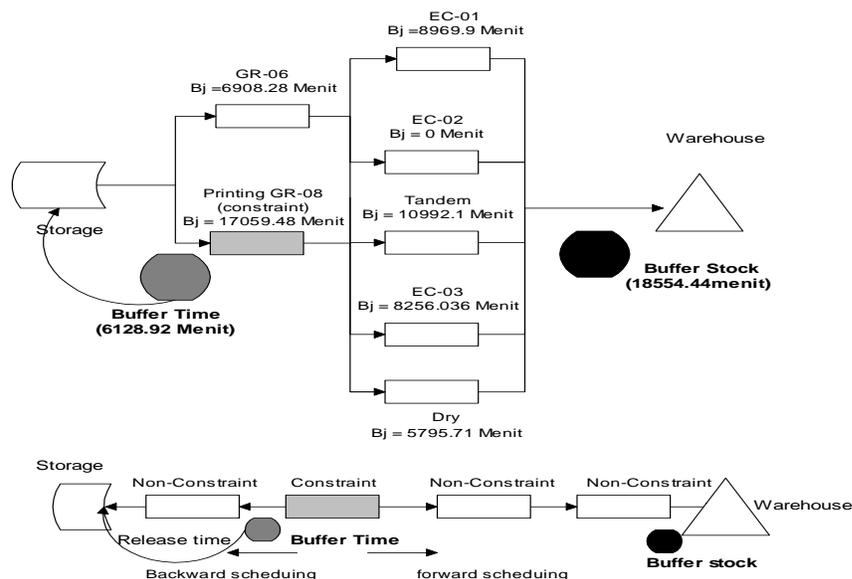
stasiun konstrain itu sendiri. Sedangkan proses penjadwalan rinci dilakukan dengan forward scheduling seperti yang dilakukan pada penjadwalan metode MRP yakni *push system*.

Penjadwalan rinci dengan metode ini mengakibatkan *buffer* yang diberikan pada stasiun konstrain tidak mempengaruhi kerja stasiun konstrain. Sehingga *buffer* yang diberikan tidak berguna. Sesuai dengan rekomendasi TOC maka penempatan *buffer* yang dimungkinkan lagi adalah stasiun pengiriman (*buffer stock*), maka dalam penelitian ini *buffer* yang diberikan adalah *buffer* pada stasiun kerja pengiriman.

6.5. Analisa Akhir Jadwal Produksi

Penjadwalan produksi dengan memakai metode DBR memberikan saat turun dan saat selesai yang dapat diaktualisasikan dalam sistem produksi sebenarnya. Didalam sistem produksi dalam kasus PT.X ini ditemukan bahwa stasiun konstrain dari keseluruhan sistem adalah stasiun printing GR-08, yang merupakan stasiun pertama yang dilewati order. Sehingga pemberian *time buffer* di depan stasiun ini tidak memiliki fungsi, karena saat *release order* pada rantai produksi adalah sama dengan saat *release order* pada stasiun konstrain. Sehingga *buffer* yang paling sesuai pada sistem produksi ini adalah *buffer stock* pada stasiun pengiriman sebesar 18554.44 menit. Pemberian *buffer stock* ini untuk menjaga kemampuan sistem untuk merespon datangnya *order* baru dan juga untuk menjaga keamanan *order* terhadap terjadinya gangguan dan fluktuasi pada sistem produksi.

Penjadwalan yang dilakukan merupakan penjadwalan maju (*forward scheduling*) seperti halnya yang dilakukan pada penjadwalan MRP pada umumnya. Hal ini terjadi karena stasiun konstrain terletak pada proses pertama dalam sistem sehingga sesuai dengan metode DBR, penjadwalan *order* setelah stasiun konstrain adalah penjadwalan maju (*forward scheduling*). Dengan penjadwalan ini maka semua order yang diterima akan dapat dipenuhi. Gambar penjadwalan DBR diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem produksi PT. X dengan sistem penjadwalan *Drum-Buffer-Rope*.

6.6. Manajemen *Drum-Buffer-Rope*

Saat *release* adalah proses komunikasi (*rope*), yang dikenal pada sistem *drum-buffer-rope*. Saat *release* ditentukan untuk mengontrol turunnya order ke rantai produksi sehingga pada stasiun non-konstrain tidak terjadi penumpukan *work in process*. Stasiun non-konstrain beroperasi hanya jika diminta stasiun konstrain dan ritme (*drum*) produksi ditentukan oleh stasiun konstrain. Besar pemberian *buffer* pada stasiun konstrain tergantung metode yang dipakai untuk mengukur besar beban stasiun konstrain. Dan pada penelitian ini dasar perhitungan besar *buffer* yang diberikan adalah metode algoritma antrian Zijm.

8. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan dan analisa serta berpedoman pada dasar teori yang ada maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan analisis dengan menggunakan prinsip *Theory of Constraint* terhadap lintasan produksi PT.X ditemukan bahwa stasiun kerja yang menjadi kendala (*constraints*) adalah stasiun kerja pertama yaitu (stasiun kerja printing GR-08) terlihat dari total beban kerja stasiun ini sebesar 17059,481 menit dan kumulatif total stasiun ini bekerja adalah selama 44724,88 menit lebih besar dari kapasitas maksimalnya dalam 1 bulan (30 hari kerja, 1 hari kerja = 24 jam) yaitu 43200 menit. Sedangkan stasiun lain memiliki total beban kerja stasiun kerja yang lebih kecil yaitu stasiun GR-06 = 6908,286 menit; EC-01 = 8969,9 menit; EC-02 = 0 menit; EC-03 = 7235,0366 menit; Tandem = 10992,1 menit, dan dry = 5795,71 menit, sehingga masih memiliki *overcapacity* untuk merespon setiap order.
2. Buffer time pada stasiun konstrain diberikan dengan metode *Drum-Buffer-Rope* pada stasiun GR-08 (konstrain) sebesar 6128,92 menit sesuai dengan hasil perhitungan yang dihasilkan dengan “Algoritma Zijm”. Pemberian buffer pada stasiun GR-08 (konstrain) tidak akan berarti karena stasiun konstrain (GR-08) terletak pada stasiun pertama dari keseluruhan sistem. Pemberian buffer time di depan stasiun konstrain berfungsi untuk menjaga stasiun konstrain dari gangguan dan fluktuasi yang terjadi pada stasiun kerja sebelum stasiun kerja konstrain dan menjaga agar *Work in Proses* pada stasiun non konstrain tidak menumpuk. *Work in Process* dapat dikontrol oleh stasiun konstrain dengan menentukan *release time* setiap order kelantai produksi. Pada kasus PT. X, *release time* ke rantai produksi sama dengan *release time* ke stasiun konstrain (karena stasiun konstrain terletak pada stasiun pertama keseluruhan sistem produksi), sehingga pemberian buffer time tidak berfungsi.
3. Jenis buffer yang paling sesuai untuk PT. X adalah buffer stock di depan stasiun pengiriman sebesar 18554,44 menit, yaitu hasil penjumlahan waktu tunggu order untuk diproses pada setiap stasiun kerja setelah stasiun kerja konstrain sesuai dengan hasil perhitungan “Algoritma Zijm”. Pemberian buffer ini sesuai dengan prinsip TOC dan metode DBR yang merekomendasikan pemberian buffer stock pada stasiun pengiriman. Dengan pemberian buffer stock sebesar 18554,44 menit maka cukup besar untuk melindungi sistem produksi untuk merespon setiap permintaan yang masuk.
4. Model penjadwalan produksi yang paling sesuai dengan prinsip TOC dengan metode DBR di PT. X adalah *forward scheduling* yaitu menjadwalkan produksi secara maju dari stasiun GR-08 (konstrain), hal ini terjadi karena stasiun konstrain (GR-08) terletak pada stasiun pertama dari sistem produksi. Model penjadwalan yang dikenal dalam DBR adalah gabungan *forward scheduling* dan *backward scheduling*. Penjadwalan *forward scheduling* dengan mendorong order maju dari stasiun konstrain dan *backward scheduling* yaitu penjadwalan menarik order dari stasiun kerja sebelumnya ke stasiun konstrain dengan cara menentukan saat *release (rope)* order ke rantai pabrik sesuai dengan ritme (*drum*) stasiun konstrain.

Daftar Pustaka

- [1] Goldratt, E. M. dan Cox, J., 1992, *The goal: A Process of ongoing improvement Great Barrington*, North River Press Publishing Company, MA.
- [2] Baker, K.R., 1974, *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley and Sons, New York.
- [3] Bertand, J.W.M., Wortmann, J.C. dan Wijngaard, J., 1990, *Production Control: A Structural and Design Oriented Approach*, Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam.
- [4] Coman, A. dan Ronen, B., Information Technology in Operation Management: A Theory of Constrains Approach, *International Journal Res*, 1995, Vol.33, No.5, 1403-1415.
- [5] Bedworth, D. D. dan Bailey, J., 1987, *Integrated Production Control System, Management, Analysis, Design 2/E*, Arizona State University, John Wiley & Sons Publishing, USA.
- [6] Fogarty, Blackstone, Hoffmann, 1991, *Production and Inventory Management*, 2D Edition printed in the USA, South Western Publication, Cincinnati Ohio.
- [7] Gershwin, S.B., 1994, *Manufacturing System Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- [8] Goldratt, E.M. dan Cox, J., 1986, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement Management*, Crotonon-Hudson, North River Press, Inc., New York.
- [9] Simon, F. H., 1996, A Practical Heuristic For Effective Buffer Management, *International journal of Operations & Production Management*, Vol 16 No. 10, 1996, pp : 89-101, Copyright MCB University Press, 0144-3577.
- [10] Jones, G. dan Roberts, M., 1990, *Optimized Production Technology*, IFS Publications, United Kingdom.
- [11] Kingsman, B.G. dan Hendry,L.C., 1989, Production Planning Systems and Their Applicability to Make Order Companies, *European Journal of Operation Research*, 40, pp : 1-15.
- [12] Kingsman, B.G., Tatsiopoulos, I.P. dan Hendry, L.C., 1989, A Structural Methodology for Managing Manufacturing Leadtimes in Make to Order Companies, *European Journal of Operation Research*, 40, pp : 196-207.
- [13] Roddrigues, L. H. dan Mackness, J. R., 1998, Teaching The Meaning of Manufacturing Synchronisation Using Simple Simulation Models, *International journal of Operations & Production Management*, Vol 18 No. 3, 1998, pp : 246-259, Copyright MCB University Press, 0144-3577.
- [14] Siha, S., 1999, A Classified model for Applying The Theory of Constraints to Service Organizations, *Managing Service Quality*, Vol. 9, Number 4-1999, pp : 255-264, Copyright MCB University Press, ISSN 0960-4529.

- [15] Sharadapriyadarshini, B. and Rajendran, C., 1996, Formulation and Heuristics for Scheduling in a buffer-constrained Flowshop and Flowline Based Manufacturing Cell with Different Buffer Space Requirements for Jobs, *International Journal Res*, Vol.34, No.12, 3465-3485.
- [16] Smith, J. J., 1994, *TOC and MRP II, From Theory to Result*, Bradley University, Peoria Illinois.
- [17] Taha, H. A., 1993, *Operation Research*, Department of Industrial Engineering University of Arkansas, Fayetteville.
- [18] Takahashi, K. dan Nakamura, N., 2000, Agile Control in JIT Ordering System, *International Journal of Agile Management Systems*, 242-252, Copyright MCB University Press, ISSN 1465-4652.
- [19] Umble, Michael, dan Srikanth, M. L., 1996, *Synchronous Manufacturing: Principles of World Class Excellence*, The Spectrum Publishing Company Inc., Boston USA.
- [20] Zijm, W.H.M., 1994, Capacity Planning, Lead Time Management, and Shopfloor Scheduling, *Eight International Working Seminar on Production Economic*, Pre-prints, Volume 2, Kongresszentrum IGCS, IGLS/INSSBRUCK, Austria, February 21-25.