

Model Penjadwalan Pengiriman Pasokan pada Strategi *Multi-Supplier* dengan Variasi Harga dan *Lead Time* untuk Permintaan Stokastik

Nur Aini Masruroh^{1*}, Anggita Virgiana Prasetyorini¹

Abstract: Multi-supplier is one of the strategies to minimize holding cost and average stock-out cost as long as to stabilize the supply of raw materials. The common problems that the firms may face when applying the multi-supplier strategy are determining the right schedule and quantity ordered for each supplier. Complexity of the problem increases with the facts that each supplier may have different parameters, demand is uncertain, and the firms' constraints. Thus, this research is done to answer two main objectives: (1) to determine the optimum safety time (minimum raw material inventory) to prevent the stockout due to the demand uncertainty and (2) to determine the right schedule and quantity ordered for each supplier considering the different suppliers parameters: price, lead time, and supply capacity. The problem is modeled in Mixed Integer Linear Programming with total minimum inventory cost as the objective. With the aim of testing the model, a case of multinational company that apply the multi-supplier strategy is used.

Keywords: Multi-supplier, mixed integer linear programming, inventory, scheduling, safety time.

Pendahuluan

Salah satu tantangan dalam *supply chain management* adalah kemampuan mengontrol jumlah modal yang dimiliki, yang antara lain tersimpan dalam bentuk investasi *inventory*, baik bahan baku, *work in process*, maupun produk jadi (Arda dan Henet [1]). Pengendalian *inventory* menjadi aktivitas yang sangat penting pada sebuah perusahaan karena biaya *inventory* dapat mencapai sekitar 20% hingga 40% total nilai tahunan (Ganeshan [2]). Salah satu faktor penting dalam pengendalian *inventory* adalah penentuan *safety stock* yang tepat. *Safety stock* adalah sejumlah *inventory*, khususnya bahan baku, yang dimiliki perusahaan untuk mencegah terjadinya *stock out* selama waktu pemesanan akibat adanya fluktuasi permintaan dan *lead time* pemesanan ke *supplier*. Penentuan tingkat *safety stock* yang dipengaruhi oleh *lead time* pemesanan menunjukkan bahwa kemampuan *supplier* dalam memenuhi pesanan menjadi faktor penting dalam melakukan pengendalian *inventory*. Hal inilah yang mendorong setiap perusahaan untuk merancang strategi dalam menggantungkan kebutuhan bahan bakunya kepada *supplier*.

Pada awalnya banyak perusahaan yang menggunakan strategi *single-supplier* yang memudahkan per-

usahaan dalam melakukan pengendalian kualitas dan memungkinkan terciptanya hubungan yang dekat antara perusahaan dan *supplier*. Namun saat ini, strategi tersebut mulai berkembang menjadi *multi-supplier*, yaitu strategi dimana perusahaan memiliki beberapa *supplier* yang memasok jenis bahan baku yang sama. Salah satu faktor perubahan tersebut adalah kebutuhan bahan baku yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan pelanggan yang berakibat pada meningkatnya kebutuhan bahan baku di lantai produksi. Selain itu, penerapan strategi *multi-supplier* juga didorong oleh kekhawatiran akan beberapa risiko, seperti monopoli harga, keterlambatan pengiriman karena mesin *breakdown*, demo buruh, keterbatasan kapasitas, hingga variasi *lead time* (Minner [3], Sawik [4]). Selain itu, membagi *order* ke beberapa *supplier* juga dapat mengurangi jumlah *safety stock* yang harus disediakan, mengurangi *cycle stock*, serta *incremental ordering cost* dari *order* kedua dan selanjutnya menjadi relatif lebih kecil (Thomas and Tyworth[5]). Melalui strategi *multi-supplier*, diharapkan perusahaan dapat melakukan penghematan biaya dan meningkatkan *service level*.

Pada beberapa kasus, strategi *multi-supplier* memang memberikan hasil yang lebih baik karena lebih memberikan jaminan akan ketersediaan bahan baku. Selain itu, strategi *multi-supplier* dapat menghindari kemungkinan terjadinya monopoli harga dan kualitas oleh *supplier*. Sebaliknya, strategi ini justru akan membuat *supplier* saling berlomba untuk memberikan pelayanan terbaik kepada

¹ Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281. Email: aini@ugm.ac.id, anggita.prasetyorini@gmail.com.

* Penulis korespondensi

perusahaan. Kelebihan strategi *multi-supplier* juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Arda dan Hennes [1], yang memberikan kesimpulan bahwa untuk kasus permintaan pelanggan dan keterlambatan pengiriman dari *supplier* terjadi secara random, strategi *multi-supplier* memberikan kemungkinan penghematan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan strategi *single-supplier*.

Masalah yang kemungkinan akan dihadapi dalam penerapan strategi *multi-supplier* adalah bagaimana menentukan porsi pemesanan yang tepat untuk masing-masing *supplier* dan merencanakan waktu kedatangan serta kuantitas bahan baku pada setiap pengiriman untuk masing-masing *supplier*. Perencanaan waktu kedatangan dan kuantitas pengiriman yang tepat harus memperhatikan parameter yang dimiliki oleh *supplier*, seperti *lead time* pengiriman, kuantitas pengiriman, dan *lot size* setiap pengiriman, serta mempertimbangkan batasan dari perusahaan, seperti kapasitas *warehouse* dan batas minimal *inventory* yang harus dimiliki perusahaan. Permasalahan akan menjadi lebih kompleks karena perbedaan nilai parameter yang dimiliki oleh setiap *supplier*. Terkait dengan skala perusahaan, setiap *supplier* dapat memiliki kapasitas yang berbeda dalam proses produksi, sehingga berpengaruh pada kuantitas serta *lot size* pengiriman yang berbeda-beda untuk setiap *supplier*. Selain itu, perbedaan asal negara *supplier* menyebabkan adanya perbedaan waktu pengiriman sehingga setiap *supplier* akan memiliki *lead time* yang berbeda dalam memenuhi pesanan. Faktor lain yang menambah kompleksitas dari penerapan strategi *multi-supplier* adalah adanya perbedaan harga yang diberikan oleh setiap *supplier*, walaupun memasok untuk jenis bahan baku yang sama. Terkait dengan perencanaan waktu kedatangan dan kuantitas pengiriman, faktor harga patut mendapat perhatian dalam melakukan pemesanan karena faktor tersebut yang akan mempengaruhi jumlah modal yang tersimpan dalam bentuk *inventory* di *warehouse*.

Penelitian-penelitian di bidang *multi-supplier* telah banyak dilakukan dengan berbagai macam tujuan dan variabel keputusan yang digunakan seperti menentukan jumlah pemesanan yang optimum (Sawik [4], Silbermayr dan Minner [6], Song *et al.* [7], Yin *et al.* [8], Abginechi *et al.* [9]), jumlah *supplier* optimum (Abginechi *et al.* [9], Guo and Ganeshan [10], dan Geetha and Achary [11]), titik pemesanan ulang optimum (Abginechi *et al.* [9]). Penelitian ini sejalan dengan penelitian-penelitian di bidang *multi-supplier* yang telah dilakukan, namun berbeda dengan penelitian lain, penekanan pada penelitian ini adalah penjadwalan waktu kedatangan dan kuantitas pengiriman bahan baku pada strategi

multi-supplier dengan mempertimbangkan perbedaan nilai parameter dari setiap *supplier*, kemampuan pasokan dari *supplier*, dan batasan dari perusahaan serta mempertimbangkan adanya ketidakpastian permintaan. Penelitian diawali dengan penentuan batas minimal *inventory* untuk menghindari terjadinya *stock out* akibat ketidakpastian permintaan, yang selanjutnya akan digunakan sebagai parameter dalam melakukan pengembangan model matematika

Metode Penelitian

Penelitian tentang *multi-supplier* telah banyak dilakukan dengan tujuan yang berbeda-beda seperti menentukan tingkat *safety stock*, menentukan jumlah *supplier* yang optimum, menentukan porsi pemesanan untuk masing-masing *supplier*, dan mengembangkan model matematika yang dapat digunakan untuk membuat sistem penjadwalan kedatangan serta kuantitas setiap pengiriman dari masing-masing *supplier*.

Thomas dan Tyworth [5] melakukan kajian pustaka mengenai *pooling lead time risk* melalui pembagian order (*order splitting*) ke beberapa *supplier*. Riset-riset di bidang ini secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga bidang yaitu riset yang mempelajari tentang efek dari *order splitting* terhadap *effective lead time*, riset yang menekankan pada analisis *total cost*, dan riset yang lebih focus kepada pengurangan *cycle stock*. Isu utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah apakah penghematan dari sisi *safety stock holding cost* dan *shortage cost* dapat mengimbangi *incremental ordering cost*.

Variabel keputusan yang digunakan dalam kasus *multi-supplier* bervariasi seperti porsi pemesanan setiap *supplier*, *inventory level*, jumlah *supplier* yang optimum, waktu pengiriman barang, dan kuantitas pengiriman barang. Penentuan porsi pemesanan optimum antara lain dilakukan oleh Arda dan Hennes [1]. Arda dan Hennes [1] melakukan penelitian dengan tujuan untuk meminimumkan rata-rata biaya penyimpanan dan biaya *stockout*. Penelitian terfokus pada kondisi stokastik dimana permintaan pelanggan dan *lead time* dari *supplier* diasumsikan *random*. Penelitian tersebut menggunakan *complex non-linear function* untuk memodelkan biaya yang harus dikeluarkan. *Decision variable* pada penelitian ini adalah level *inventory* dan persentase pemesanan kepada masing-masing *supplier*. Perhitungan level *inventory* dilakukan dengan mengasumsikan bahwa permintaan pelanggan dan *lead time supplier* adalah stasioner. Persentase pemesanan ditentukan dengan menggunakan metode *Bernoulli Splitting Process* dengan *Bernoulli branching parameters*, dimana persentase optimal

untuk masing-masing *supplier* diperoleh ketika sudah tercapai kondisi *steady state*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi stokastik, penerapan *multi-supplier* menghasilkan biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan strategi *single-supplier*.

Penelitian lain yang menggunakan porsi pemesanan sebagai variabel keputusan dilakukan oleh Chang *et al.* [12] yang mengembangkan model matematis dengan pendekatan *mixed integer* untuk menentukan jumlah pemesanan optimal kepada masing-masing *supplier*. Penentuan jumlah pemesanan optimal ini dilakukan dengan mempertimbangkan variasi *lead time*, *price-quantity discount* (PQD), dan keterbatasan sumber daya yang berbeda-beda untuk masing-masing *supplier*, dengan batasan bahwa *stock* yang dimiliki harus dapat memenuhi permintaan setiap periode dan tidak melebihi batas maksimum kapasitas *warehouse*. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk meminimumkan *holding cost* dan *ordering cost*, yang diasumsikan sama untuk setiap *supplier*. Model *mixed integer* juga digunakan oleh Lee *et al.* [13] untuk menentukan *lot size* yang optimal pada kasus *multi-supplier*, *multi-period*, dengan mempertimbangkan adanya *quantity discount*. Dalam hal ini permintaan dan *lead time* dari *supplier* diasumsikan deterministik dan telah diketahui sebelumnya. Meena dan Sarmah [14] mengembangkan model *Mixed Integer Non-Linear Programming* untuk menentukan optimum alokasi order untuk masing-masing *supplier* dengan mempertimbangkan perbedaan kapasitas dari masing-masing *supplier*, kemungkinan kegagalan pengiriman, dan *quantity discount*. Model diselesaikan dengan menggunakan algoritma genetika. Dalam hal ini permintaan dianggap konstan dan telah diketahui. Song *et al.* [7] mengembangkan model stokastik *dynamic programming* untuk menentukan kebijakan persediaan terintegrasi yang mencakup *supplier*, manufaktur, dan konsumen. Variabel keputusan yang digunakan adalah kuantitas pemesanan dari masing-masing *supplier* dengan mempertimbangkan batasan kapasitas *delivery* maksimum dari setiap *supplier*. Dalam kasus ini, permintaan diasumsikan terdistribusi Poisson, *lead time* dari setiap *supplier* terdistribusi eksponensial dengan *mean* berbeda-beda untuk setiap *supplier*, dan waktu produksi dari manufaktur diasumsikan terdistribusi eksponensial. State yang digunakan dalam hal ini adalah kedatangan material, *completion time* dari *finished good*, dan permintaan konsumen.

Variabel keputusan lain yang sering digunakan dalam kasus *multi-supplier* adalah menentukan jumlah *supplier* yang optimum. Beberapa penelitian yang menggunakan variabel keputusan ini antara

lain adalah penelitian yang dilakukan oleh Abginehchi *et al.* [9], Guo and Ganeshan [10], dan Geetha and Achary [11]. Abginehchi *et al.* [9] menggunakan sistem *continuous review policy* dimana pada saat *reorder point*, order dibagi ke dalam n *supplier*. Untuk menentukan jumlah *supplier* yang optimal, diasumsikan *lead time* dan harga dari semua *supplier* sama. Algoritma *Sequential Quadratic Programming* digunakan untuk menyelesaikan model yang terbentuk. Guo dan Ganeshan [9] mengembangkan prosedur untuk menentukan jumlah *supplier* yang harus digunakan sesuai dengan *mean* dan *variance* dari *lead time* yang diinginkan. Geetha dan Achary [10] melanjutkan penelitian yang dilakukan oleh Guo dan Ganeshan [9] dengan mengembangkan prosedur untuk mendapatkan nilai *mean* dan *variance* dari *lead time*. Prosedur yang dikembangkan menggunakan *Generalized Lambda Distribution* sebagai pendekatan untuk distribusi *lead time*.

Beberapa penelitian menggunakan jumlah optimum *supplier* dan kuantitas pemesanannya sebagai variabel keputusan. Silbermayr dan Minner [6] mengembangkan model *Semi-Markov Decision Process* (SMDP) untuk menentukan jumlah *supplier* yang digunakan dan jumlah pemesanan untuk masing-masing *supplier*. Setiap *supplier* mempunyai karakteristik yang berbeda dalam hal harga, *reliability*, dan kecepatan pengiriman. Permintaan diasumsikan mengikuti distribusi Poisson. Hasil riset menunjukkan penggunaan *multi-supplier* menghasilkan total biaya lebih rendah dibandingkan jika hanya menggunakan *supplier* tunggal. Yin *et al.* [8] mengembangkan model *non-cooperative game* (*Stackelberg game*) untuk menentukan kebijakan produksi, harga, dan persediaan secara simultan dengan permintaan terdistribusi normal. Fungsi tujuan yang digunakan adalah memaksimalkan *profit*. Dalam model ini, pertama kali perusahaan akan menentukan jumlah produksi, jumlah pemesanan, memilih *supplier* dan jumlah *order* untuk setiap *supplier*. Selanjutnya akan terjadi proses negosiasi antara *supplier* dan perusahaan untuk menentukan harga jual berdasarkan jumlah kuantitas pemesanannya. Sawik [4] mengembangkan model stokastik *mixed integer programming* untuk mengintegrasikan pemilihan *supplier* dan *customer order scheduling* dengan mempertimbangkan risiko gangguan pasokan. Gangguan pasokan dalam hal ini dapat berupa bencana alam maupun bencana karena perbuatan manusia. Variabel keputusan yang digunakan dalam model ini adalah *supplier* yang dipilih, *order-to-period assignment*, dan jumlah pemesanan untuk setiap *supplier*. Model ini menggunakan *medium term planning horizon*. Berdasarkan *supplier* yang ditentukan dan jumlah pemesanan untuk masing-

masing *supplier*, selanjutnya digunakan untuk menyusun *optimal production schedule* untuk memenuhi *customer order* yang akan meminimumkan biaya.

Penentuan *level inventory* optimum sebagai variabel keputusan digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Arda dan Hennes [1] dan Osman dan Demirli [7]. Penelitian yang dilakukan oleh Osman dan Demirli [7] bertujuan untuk mencari *safety stock* terintegrasi pada *supply chain* dengan beberapa *stockpoint*. Perhitungan *safety stock* pada kondisi stokastik tersebut dengan mempertimbangkan adanya variasi *demand* dan variasi *lead time* dari setiap *supplier*. Untuk parameter *lead time*, digunakan pendekatan maximum yang diperoleh melalui konsep *order statistics*. *Lead time* dari setiap *supplier* diasumsikan *independent*, serta identik dan terdistribusi normal. Untuk melakukan perhitungan *safety stock*, digunakan metode *generalized lambda distribution*, sehingga diperoleh parameter dari pendekatan maksimum, $E(X_i)$ sebagai *mean* dan $\text{Var}(X_i)$ sebagai *variance*, untuk n *supplier*. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk dapat memenuhi *customer service level* dengan biaya pengadaan *safety stock minimum*.

Model penjadwalan *supplier* untuk menentukan waktu kedatangan *supplier* dilakukan antara lain oleh Hum *et al.* [15]. Hum *et al.* [15] mengembangkan model matematika untuk membuat penjadwalan *multi-supplier* pada sebuah perusahaan perakitan komputer. Penjadwalan pengiriman termasuk dalam *NP-hard problem* dengan tujuan meminimumkan rata-rata level *inventory*, dengan batasan yang digunakan adalah *pattern* waktu pengiriman yang berbeda dari setiap *supplier* dan batas minimal *inventory* di *warehouse* atau *protection level*. Masing-masing *supplier* memiliki kapasitas pengiriman dan *lead time* yang berbeda-beda. Setiap *supplier* juga memiliki interval waktu antar pengiriman yang berbeda-beda. Proporsi pemesanan untuk masing-masing *supplier* sudah ditentukan sebelumnya. Kapasitas setiap pengiriman yang sudah ditentukan oleh setiap *supplier*, maka variabel keputusan untuk penelitian ini adalah waktu pengiriman dari setiap *supplier*. Penelitian tersebut juga memperlihatkan hubungan antara level *inventory* maksimum, rata-rata, dan minimum, untuk menunjukkan bahwa permasalahan penjadwalan pengiriman adalah sama dengan *classical inventory staggering problem*. Penelitian ini lebih memperhatikan pada terbatasnya kapasitas *warehouse*, sehingga perlu dilakukan penjadwalan kedatangan bahan baku dari *supplier* untuk menghindari terjadinya *overcapacity*. Riezebos dan Zhu [16] mengembangkan prosedur untuk menyusun MRP untuk kondisi *multi-supplier*

dengan mempertimbangkan perbedaan *lead time* antar *supplier* dan kemungkinan *order crossover*, yaitu ketika kedatangan order tidak sesuai dengan urutan pemesanannya. Dalam penelitian ini, *optimal (s, S) policy* dikembangkan dengan menggunakan model *dynamic programming*.

Berdasarkan beberapa tinjauan pustaka tersebut, banyak penelitian terkait penjadwalan masih menggunakan asumsi nilai parameter yang sama untuk setiap *supplier*. Sebagai contoh, Osman dan Demirli [16], Arda dan Hennes [1], Abginehchi *et al.* [9] menggunakan asumsi *lead time* yang sama untuk setiap *supplier*. Demikian juga Arda dan Hennes [1], Hum *et al.* [15] menggunakan asumsi harga yang sama untuk setiap *supplier*. Osman dan Demirli [16] dan Guo and Ganeshan [10] tidak mempertimbangkan harga dari masing-masing *supplier* di dalam model yang dikembangkan. Meskipun demikian, beberapa penelitian telah mempertimbangkan adanya perbedaan parameter dari setiap *supplier*. Guo dan Ganeshan [10], Hum *et al.* [15], dan Chang *et al.* [12] telah mengakomodasi adanya variasi *lead time* dari setiap *supplier* di dalam modelnya. Selain mempertimbangkan variasi *lead time*, Chang *et al.* [12] juga mempertimbangkan adanya variasi harga dari setiap *supplier*.

Penentuan variabel keputusan dan parameter yang digunakan dalam model sangat tergantung pada kondisi perusahaan. Penelitian ini akan mengembangkan model penjadwalan kedatangan order dari *supplier* untuk meminimumkan total biaya dengan variabel keputusan waktu kedatangan *order* dan kuantitas pengiriman dari masing-masing *supplier* dengan mempertimbangkan variasi *lead time* dan harga dari masing-masing *supplier*, kemampuan pasokan dari *supplier*, batasan sumber daya perusahaan (kapasitas gudang dan syarat batas minimum *inventory*), serta ketidakpastian permintaan.

Deskripsi Sistem

Objek yang digunakan sebagai dasar pengembangan model dalam penelitian ini adalah sistem *supply chain* sebuah perusahaan multi-nasional yang menerapkan strategi *multi-supplier* untuk memenuhi kebutuhan bahan bakunya. Masing-masing *supplier* memiliki porsi atau total jumlah pemesanan yang berbeda, dimana setiap porsi tersebut sudah ditentukan sebelumnya melalui kontrak. Selain porsi pemesanan yang berbeda, masing-masing *supplier* juga memiliki parameter yang berbeda-beda yang meliputi harga per ton bahan baku, jenis kontrak, *lot size*, waktu *shipping* terkait dengan negara asal *supplier*, serta perjanjian status *inventory* pada tahap *shipping* atau *Good in Transport*. Permintaan terhadap bahan baku dan *lead time* dari masing-masing *supplier* bersifat stokastik.

Seluruh bahan baku berasal dari luar negeri. Terdapat dua jenis kontrak yang digunakan oleh *supplier*, yaitu *Estimate to Delivery (ETD)* dan *Estimate to Arrive (ETA)*. *Supplier* yang menerapkan kontrak *ETD* akan menghitung total jumlah pesanan bahan baku dari seluruh *order* menggunakan waktu pengiriman bahan baku atau keberangkatan pesanan dari *port* asal. *Supplier* yang menerapkan kontrak *ETA* akan menghitung total jumlah pesanan bahan baku dari seluruh *order* menggunakan waktu tiba bahan baku di *port* tujuan, yang berada di Semarang, Indonesia. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam proses pemesanan bahan baku adalah: (1) Pembuatan dan pengiriman *Purchase Order (PO)* kepada *supplier* yang berisi permintaan pengiriman suatu jenis bahan baku dalam jumlah tertentu. Waktu pengiriman *PO* disebut dengan *PO Issued* dan setiap *PO* yang dibuat akan disertai dengan *ETA Request*, yaitu permintaan waktu kedatangan bahan baku di *port* tujuan, di Semarang, Indonesia. (2) Pemberian konfirmasi oleh pihak *supplier* terkait penerimaan *PO*. (3) Pemberian konfirmasi oleh pihak *supplier* terkait waktu pengiriman bahan baku dari port negara asal (*ETD confirmed*) dan perkiraan waktu kedatangan di *port* negara tujuan (*ETA confirmed*).

Setelah proses pemesanan, terdapat beberapa proses yang dilewati oleh bahan baku, meliputi pengiriman dan pengendalian kualitas hingga menjadi bahan baku siap pakai. Sesuai perjanjian antara *supplier* dan perusahaan, hampir seluruh bahan baku yang berada dalam proses pengiriman sudah menjadi *inventory* milik perusahaan, sehingga waktu pengiriman juga menjadi pertimbangan perusahaan dalam melakukan penjadwalan pengiriman pasokan bahan baku karena akan berpengaruh pada *tied up capital cost* yang harus ditanggung perusahaan. Beberapa tahapan yang dilalui bahan baku selama proses pengiriman dan pengelolaan adalah: (1) *Shipping*, yaitu proses pengiriman bahan baku dari negara asal *supplier* ke negara tujuan perusahaan melalui jalur laut. Durasi *shipping* untuk setiap pengiriman sangat bergantung pada negara asal *supplier* dan kondisi cuaca. Pada proses ini, status bahan baku tergantung dari kesepakatan antara *supplier* dan perusahaan, apakah masih menjadi *inventory supplier* atau sudah menjadi *inventory* perusahaan. (2) *Customs Clearance (CC)*, yaitu proses yang dilakukan di *port* negara tujuan terkait dengan penerimaan barang impor. (3) *Quality Inspection (QI)*, yaitu inspeksi kualitas yang dilakukan oleh *QI Department* dari perusahaan. (4) Bahan baku akan menjadi *ready stock inventory* setelah dinyatakan lolos *Quality Inspection*, sedangkan bahan baku yang tidak lolos *QI* akan diajukan klaim ke pihak *supplier* untuk selanjutnya dimusnahkan. *Ready stock*

inventory bahan baku ini yang kemudian digunakan untuk proses produksi.

Tahapan Penelitian

Pengembangan model diawali dengan melakukan deskripsi sistem dari objek yang diteliti. Berdasarkan deskripsi sistem tersebut selanjutnya dibangun model matematika untuk menjadwalkan kedatangan *supplier* dan kuantitas setiap pengiriman dari masing-masing *supplier*. Salah satu batasan yang digunakan dalam model adalah jumlah minimum level *inventory (safety stock)* yang digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian permintaan dan *lead time* dari masing-masing *supplier*. Sesuai dengan kebijakan perusahaan, level minimum *inventory* tersebut tidak dinyatakan dengan kuantitas bahan baku melainkan dalam perkiraan durasi waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan baku tersebut yang diistilahkan dengan *safety time*. Oleh karena itu, sebelum model dijalankan, *safety time* harus ditentukan terlebih dahulu. Apabila hasil perhitungan masih menunjukkan posisi persediaan ada yang berada di bawah *safety time* yang ditentukan, maka nilai *safety time* akan dievaluasi sampai posisi *inventory* tidak ada yang berada di bawah *safety time*. *Safety time* pada kondisi ini disebut sebagai *safety time optimal*. Nilai *safety time optimal* ini yang selanjutnya digunakan untuk menyusun jadwal dan kuantitas bahan baku pada setiap pengiriman dari setiap *supplier*.

Model Matematika

Luaran yang diharapkan dari model matematika ini adalah penjadwalan kedatangan dan kuantitas pengiriman bahan baku dari setiap *supplier* setiap minggunya dengan mempertimbangkan perbedaan nilai parameter dari setiap *supplier* dan batasan yang ditentukan oleh perusahaan. Parameter *supplier* meliputi total jumlah kontrak pemesanan, *lot size* pengiriman, *lead time* pengiriman, serta harga yang diberikan masing-masing *supplier*. Selain perbedaan nilai parameter dari setiap *supplier*, terdapat batasan dari sisi perusahaan meliputi kapasitas *warehouse* dan batas minimal *inventory* di *warehouse*.

Fungsi tujuan yang digunakan adalah meminimumkan biaya *inventory*, dimana di dalamnya terdapat komponen *purchasing cost*, *tied up capital cost*, dan *handling cost*. Adanya komponen *purchasing cost* dan *tied up capital cost* menyebabkan harga bahan baku yang berbeda dari setiap *supplier* menjadi hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan waktu kedatangan dan kuantitas pengiriman pasokan bahan baku. Perbedaan harga akan menghasilkan perbedaan biaya pembelian untuk bahan baku

dari *supplier* yang berbeda sehingga akan berpengaruh pada perhitungan *purchasing cost*. Dalam perhitungan *tied up capital cost*, perbedaan harga akan menghasilkan perbedaan jumlah modal yang tersimpan dalam bentuk *inventory* yang dimiliki perusahaan

Notasi

Berikut adalah indeks variable dan parameter dari model matematika yang dikembangkan.

- I : set *supplier* bahan baku
- i : indeks *supplier* ($i \in I$)
- J : set satuan waktu penjadwalan
- j : nomor waktu penjadwalan ($j \in J$)
- P : set harga bahan baku dari *supplier*
- p_i : harga bahan baku dari *supplier* i ($p_i \in P$)
- K : set total jumlah pemesanan setiap *supplier*
- k_i : total jumlah pemesanan untuk *supplier* i ($k_i \in K$)
- L : set *lot size* pengiriman setiap *supplier*
- l_i : *lot size* pengiriman dari *supplier* i ($l_i \in L$)
- D : set *demand* setiap satuan waktu penjadwalan
- d_j : *demand* pada waktu j ($d_j \in D$)
- o_j : sisa *stock* pada waktu j
- m_j : total *material handling* pada waktu j
- b : persentase untuk *tied up capital cost*
- h : *handling cost* dengan batasan maksimal jumlah *material handling* (*handling cost* merupakan *fixed cost* sampai dengan batas maksimalnya, selebihnya dikenakan *penalty* untuk setiap kelebihannya)
- g : maksimal jumlah *material handling*
- c : *charge* untuk *handling cost*
- w : kapasitas *warehouse*
- y : jumlah minimal *inventory* (dikonversi dari nilai *safety time*)
- x : kelipatan *lot size*
- $E(x_i)$: *mean lead time* untuk n *supplier*
- $Var(X_i)$: *variance* dari *lead time* n *supplier*
- μ : *mean* dari *lead time* masing-masing *supplier*
- σ : standar deviasi *lead time* dari masing-masing *supplier*
- m_i : *parameter order statistics* untuk $E(X_i)$
- v_i : *parameter order statistics* untuk $Var(X_i)$
- C_r : fungsi untuk perhitungan m_i
- $\beta(x, y)$: fungsi beta untuk perhitungan v_i
- μ_D : rata-rata permintaan
- σ_D : standar deviasi permintaan

variabel keputusan yang digunakan adalah:

- q_{ij} : kuantitas pasokan bahan baku yang dikirim oleh *supplier* i pada waktu j

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang digunakan dalam model ini adalah meminimumkan biaya *inventory* yang meliputi *purchasing cost* (PC), *opportunity cost* (OC) sebagai akibat dari penyimpanan modal dalam bentuk *inventory*, dan *handling cost* (HC) seperti ditunjukkan pada persamaan (1). Persamaan (2) sampai dengan persamaan (6) menunjukkan perhitungan untuk masing-masing komponen biaya *inventory*.

$$\min TC = PC + OC + HC \tag{1}$$

$$PC = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (q_{ij} \times p_i) \tag{2}$$

$$o_j = o_{j-1} + \sum_{i=1}^I q_{ij} - d_j \tag{3}$$

$$OC = \sum_{j=1}^J (o_j \times \sum_{i=1}^I p_i / I) \times b \tag{4}$$

Persamaan (2) menunjukkan perhitungan untuk komponen *purchasing cost*, sedangkan persamaan (3) menunjukkan perhitungan untuk komponen *tied up capital cost*, yang dipengaruhi oleh sisa stok bahan baku pada waktu j (o_j), harga rata-rata bahan baku dari *supplier*, dan persentase untuk *tied up capital cost* (b).

Pada penelitian ini, *handling cost* menggunakan asumsi *fixed cost* dengan batasan maksimal jumlah *material handling* (g) dan akan dikenakan *charge* (c) untuk setiap kelebihan jumlah *material handling*. Perhitungan *material handling* ditunjukkan pada persamaan (5) dan perhitungan *handling cost* ditunjukkan pada persamaan (6).

$$m_j = o_{j-1} + \sum_{i=1}^I q_{ij} \tag{5}$$

$$HC = h + \sum_{j=1}^J (\max(m_j - g, 0) \times c) \tag{6}$$

Batasan

Batasan dari setiap *supplier* adalah jumlah total pesanan selama satu periode, yang ditunjukkan pada persamaan (7), dan *lot size* setiap pengiriman, yang ditunjukkan pada persamaan (8), dimana nilai q_{ij} dan x harus bernilai non-negative dan integer (persamaan (9) dan persamaan (10)).

$$\sum_{j=1}^J q_{ij} = k_i ; \forall i \in I \tag{7}$$

$$q_{ij} = x \times l_i ; \forall i \in I \tag{8}$$

$$q_{ij} \geq 0, \text{integer} ; \forall i \in I, j \in J \tag{9}$$

$$x \geq 0, \text{integer} \tag{10}$$

Dari sisi perusahaan, penentuan *decision variable* dipengaruhi oleh batasan kapasitas *warehouse* dan batas minimal *inventory* setiap waktu. Batasan kapasitas *warehouse* dihitung dengan menggunakan indikator jumlah *material handling* setiap waktu, yang ditunjukkan pada persamaan (11), sedangkan batas minimal *inventory* dihitung dengan menggunakan indikator sisa *stock*, yang ditunjukkan pada persamaan (12).

$$m_j \leq w ; \forall j \in J \tag{11}$$

$$o_j \geq y ; \forall j \in J \tag{12}$$

Penentuan safety time

Safety time digunakan sebagai batas minimal *inventory* untuk mengantisipasi adanya variasi *demand* selama *lead time* dan dalam kasus ini *lead time* juga tidak tentu. Untuk strategi *multi-supplier*, variasi *lead time* dari beberapa *supplier* juga harus dipertimbangkan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *generalized lambda distribution* untuk mendapatkan *mean* dan *variance* dengan pendekatan maksimum. Metode ini digunakan untuk *lead time* dari *n supplier* yang terdistribusi normal dan identik dengan mean μ dan *variance* σ^2 . Parameter yang digunakan adalah $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$ dan λ_4 sehingga diperoleh $E(X_i)$ sebagai mean dan $Var(X_i)$ sebagai *variance* dari *lead time n supplier* (Osman dan Demirli [16]). Secara teoretis, *expected lead time* ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

$$E(X_i) = \mu + \sigma m_i \tag{13}$$

$$m_i = \frac{C_i - C_{n-i+1}}{\lambda_2 C_{n+1}} \tag{14}$$

dimana

$$C_r = r \prod_{k=1}^r \left(1 + \frac{\lambda_3 - 1}{k} \right) Var(X_i) = \sigma^2 v_i \tag{15}$$

$$v_i = \frac{\beta(2\lambda_3 + 1, t) - 2\beta(\lambda_3 + i, t + \lambda_4) + \beta(t, t + 2\lambda_4)}{\lambda_2^2 \beta(i, t)} - (m_i - \lambda_1)^2$$

dimana

$$t = n - i + 1$$

$$\text{dan } \beta(x, y) = \frac{(x-1)!(y-1)!}{(x+y-1)!} \tag{16}$$

Nilai *safety stock* (dalam hal ini juga berlaku sebagai jumlah minimal *inventory*, y) dan *safety time* selanjutnya ditentukan dengan menggunakan persamaan (16) dan persamaan (17).

$$y = \mu_D \times E(X_i) + z \sqrt{E(X_i) \times \sigma_D^2 + \mu_D \times Var(X_i)} \tag{17}$$

$$\text{safety time} = \frac{y}{\mu_D} \tag{18}$$

Hasil dan Pembahasan

Studi Kasus

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini menggunakan sebuah perusahaan multinasional yang memproduksi berbagai jenis produk nutrisi sebagai objek penelitian. Model matematika yang telah dikembangkan selanjutnya diaplikasikan untuk menentukan *safety time* optimum dan penjadwalan kedatangan serta kuantitas pengiriman dari setiap *supplier* untuk beberapa bahan baku

utamanya. Pada penelitian ini, studi kasus akan difokuskan pada 3 jenis bahan baku *dairy* yang memiliki porsi dan membutuhkan biaya paling besar, yaitu bahan baku A, B, dan C. Sebagai bahan baku utama yang dibutuhkan untuk produksi setiap harinya, ketiga bahan baku tersebut tidak boleh mengalami *stockout* karena dapat menghentikan proses di lantai produksi. Namun, penyimpanan persediaan bahan baku tersebut juga dibatasi oleh kapasitas *warehouse*, kontrak yang telah disepakati antara *supplier* dan perusahaan, serta kemampuan *supplier* dalam memenuhi pesanan dari perusahaan.

Untuk memenuhi kebutuhan ketiga bahan baku tersebut, perusahaan menerapkan strategi *multi-supplier*, dimana ketiga bahan baku utama tersebut berturut-turut memiliki 3 *supplier*, 2 *supplier*, dan 4 *supplier*. Masing-masing *supplier* memiliki porsi atau total jumlah pemesanan yang berbeda, dimana setiap porsi tersebut sudah ditentukan sebelumnya melalui kontrak. Selain porsi pemesanan yang berbeda, masing-masing *supplier* juga memiliki parameter yang berbeda-beda yang meliputi harga per ton bahan baku, jenis kontrak, *lot size*, waktu *shipping* terkait dengan negara asal *supplier*, serta perjanjian status *inventory* pada tahap *shipping* atau *Good In Transport*. Tabel 1 menunjukkan parameter yang digunakan dalam model untuk setiap *supplier*. Berikut definisi dari masing-masing parameter. (1) Porsi atau total jumlah pemesanan adalah total jumlah bahan baku yang dapat dipesan kepada *supplier* dalam jangka waktu satu *quarter*. (2) Harga untuk per ton bahan baku yang dipesan kepada *supplier*, dimana didalamnya sudah terdapat unsur *ordering cost*, sehingga proses pemesanan yang dilakukan perusahaan tidak lagi mempertimbangkan adanya *ordering cost*. Dalam penelitian ini, harga bahan baku dalam mata uang \$ dan € dikonversi ke dalam mata uang Rp menggunakan kurs tengah Bank Indonesia pada tanggal 28 Februari 2014, yaitu Rp 11.634,00 per 1 \$ dan Rp 15.945,00 per 1 €. (3) Jenis kontrak adalah parameter *supplier* terkait dengan periode perhitungan total jumlah pesanan bahan baku dari perusahaan, untuk kemudian dievaluasi dengan porsi pemesanan per *quarter* dari masing-masing *supplier*. Terdapat dua jenis kontrak yang digunakan oleh *supplier*, yaitu *Estimate to Delivery (ETD)* dan *Estimate to Arrive (ETA)*. (4) *Lot size* adalah kelipatan jumlah yang ditetapkan oleh setiap *supplier* untuk setiap pengiriman bahan baku. (5) Waktu *shipping* adalah durasi bahan baku ketika dalam perjalanan menempuh jalur laut dalam proses pengiriman dari *port* asal hingga port tujuan, dimana waktu *shipping* ini bergantung pada negara asal dari *supplier* bahan baku. Waktu *shipping* diasumsikan mengikuti distribusi normal sehingga

Tabel 1. Parameter untuk setiap *supplier* bahan baku (data perusahaan)

Bahan baku	Supplier	Negara asal	Porsi kontrak (ton)	Harga per ton		Jenis kontrak	Lot size (ton)	Durasi shipping		Status inventory GIT
				USD	EUR			Rata-rata	Std dev	
A	A1	New Zealand	3.200	\$4.704,05	-	ETA	25	26	5	Perusahaan
	A2	Australia	1.200	\$4.086,97	-	ETD	25	22	2	Perusahaan
	A3	New Zealand	700	\$4.311,14	-	ETD	25	23	3	Perusahaan
B	B1	Prancis	1.500	\$1.709,17	-	ETD	25	43	4	Supplier
	B2	Prancis	288	-	€1.164,17	ETD	24	39	3	Perusahaan
C	C1	US	1.250	\$3.296,52	-	ETA	20	29	4	Perusahaan
	C2	US	500	\$3.415,70	-	ETD	20	36	7	Perusahaan
	C3	Australia	350	\$3.487,40	-	ETD	25	21	3	Perusahaan
	C4	Argentina	1.375	\$3.339,16	-	ETD	25	39	5	Perusahaan

parameter yang digunakan adalah rata-rata dan standar deviasi. (6) Perjanjian *inventory* adalah perjanjian antara *supplier* dan perusahaan terkait status bahan baku yang sedang berada di perjalanan laut atau *shipping*, apakah masih menjadi *inventory* milik *supplier* atau sudah menjadi *inventory* milik perusahaan.

Proses pengendalian *inventory* bahan baku perusahaan dilakukan melalui pantauan jumlah *inventory* yang dimiliki perusahaan, baik untuk *inventory* yang sudah maupun belum tiba di *warehouse*, serta mengevaluasi jumlah *inventory* tersebut dengan batas minimal *inventory* setiap waktu. Dalam menentukan batas minimal *inventory*, perusahaan menggunakan konsep *safety time* yang mengindikasikan batas minimal *inventory* yang harus dimiliki perusahaan setiap waktunya. *Safety time* dinyatakan dengan menggunakan satuan waktu dan ditentukan berdasarkan jumlah kebutuhan bahan baku sesuai MRP selama durasi waktu tertentu.

Setelah proses pemesanan, terdapat beberapa proses yang dilewati oleh bahan baku, meliputi pengiriman dan pengendalian kualitas hingga menjadi bahan baku siap pakai. Berikut adalah beberapa tahapan yang dilalui bahan baku selama proses pengiriman dan pengelolaan beserta nilai yang digunakan di dalam model.

(1) *Shipping*, dengan durasi untuk setiap pengiriman sangat bergantung pada negara asal *supplier* dan kondisi cuaca. Pada proses ini, status bahan baku tergantung dari kesepakatan antara *supplier* dan perusahaan, apakah masih menjadi *inventory supplier* atau sudah menjadi *inventory* perusahaan. (2) *Customs Clearance* (CC). Untuk kasus ini, proses CC dilakukan oleh pihak ketiga yang ditunjuk perusahaan dan diasumsikan membutuhkan waktu 7 hari atau 1 minggu. (3) *Quality Inspection* (QI). Pada kondisi normal, proses QI membutuhkan waktu 5 hari sedangkan pada

kondisi ditemukannya *quality issue*, proses QI akan membutuhkan waktu lebih lama yaitu sekitar 1 minggu, dengan probabilitas ditemukannya *quality issue* adalah 3-5%. (4) Bahan baku akan menjadi *ready stock inventory* setelah dinyatakan lolos *Quality Inspection*.

Untuk pengelolaan *inventory* di *warehouse*, perusahaan menerapkan sistem *outsourc* dengan menunjuk pihak ketiga untuk melakukan *material handling* di *warehouse*. Sistem pembayaran yang digunakan adalah biaya kontrak untuk satu tahun. Dalam hal ini, *handling cost* menjadi biaya tetap per tahun dengan batas maksimal *inventory* yang dikelola setiap periodenya, yaitu 8500 ton untuk keseluruhan bahan baku, dan akan dikenakan *charge* untuk setiap ton kelebihan *inventory*. Pada penelitian ini, *handling cost* dan batas maksimal *inventory* untuk masing-masing jenis bahan baku ditentukan berdasarkan persentase porsi terhadap keseluruhan *inventory* bahan baku.

Dalam melakukan pengendalian *inventory* bahan baku, perusahaan menggunakan metode gabungan antara *continuous review policy* dan *periodic review policy*, dimana jumlah *inventory* bahan baku dipantau setiap hari dan akan dilakukan pemesanan ketika jumlah *inventory* berada di bawah batas minimal *inventory*. Acuan yang digunakan untuk melakukan pengendalian *inventory* adalah *safety time*, sebagai batas minimal jumlah *inventory* yang harus dimiliki oleh perusahaan setiap periode. Dengan acuan *safety time*, maka batas minimal *inventory* akan berbeda setiap waktu, tergantung pada kebutuhan bahan baku pada beberapa waktu ke depan.

Optimasi Safety Time

Safety time digunakan sebagai batas minimal *inventory* untuk mengantisipasi adanya variasi *demand* selama *lead time*. Perhitungan *safety time* dilakukan dengan mempertimbangkan adanya

variasi *demand* bahan baku dan menggunakan asumsi *lead time* deterministik yang digunakan oleh perusahaan, yaitu 97 hari, dimana 90 hari merupakan durasi produksi bahan baku dan pengiriman melalui jalur laut, sedangkan 7 hari adalah durasi *Customs Clearance*. Untuk mengakomodasi adanya variasi *demand*, dilakukan pengujian menggunakan *software Stat::fit* untuk mengetahui pola distribusi data *demand*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data *demand* untuk ketiga bahan baku mengikuti pola distribusi normal. Untuk bahan baku utama, perhitungan *safety time* menggunakan *target service level* 99.9% karena perusahaan tidak mengizinkan terjadinya *stockout* bahan baku yang akan menyebabkan berhentinya proses produksi.

Pada *periodic review policy*, pengendalian *inventory* yang dilakukan menggunakan sebuah parameter, yaitu *base-stock level*. Perusahaan akan menentukan target level *inventory*, *base-stock level*, dan periode *review*. Level *inventory* akan ditinjau pada setiap periode, dan *order material* akan dilakukan setelahnya untuk meningkatkan posisi *inventory* agar mencapai *base-stock level*. *Base-stock level* terdiri dari 2 komponen, yaitu rata-rata *demand* selama jangka waktu antar periode *review* dan *safety stock*. Rata-rata *demand* antar periode *review* adalah rata-rata *demand* selama jangka waktu periode *review* ditambah *lead time*.

Menggunakan persamaan (12) sampai dengan persamaan (17), maka diperoleh *safety time* seperti terdapat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara nilai *safety time* teoritis dan *safety time* yang digunakan perusahaan saat ini. Terlihat bahwa *safety time* yang digunakan perusahaan saat ini sudah sesuai dengan teori. Namun pada kondisi aktual, level *inventory* pada beberapa periode masih berada di bawah tingkat *safety time*, meskipun tidak sampai mengalami *stockout*.

Tabel 2. Perbandingan tingkat *safety time* aktual dan teoritis

Bahan baku	Aktual		Teoretis	
	<i>Safety time</i> , hari	<i>Safety time</i> , minggu	<i>Safety time</i> , hari	<i>Safety time</i> , minggu
A	13	1,86	13	1,86
B	16	2,29	16	2,29
C	14	2,00	14	2,00

Tabel 3. Perbandingan tingkat *safety time* aktual dan setelah optimasi

Bahan baku	Aktual		Hasil optimasi	
	<i>Safety time</i> , hari	<i>Safety time</i> , minggu	<i>Safety time</i> , hari	<i>Safety time</i> , minggu
A	13	1,86	10	1,43
B	16	2,29	11	1,57
C	14	2,00	10	1,43

Hal ini disebabkan tingkat *safety time* yang diterapkan terlalu tinggi. *Safety time* yang tinggi sebenarnya memberikan keuntungan seperti memperkecil kemungkinan terjadinya *stock out*. Namun, *safety time* yang terlalu tinggi menyebabkan biaya simpan dan *tied up capital cost* yang ditimbulkan juga semakin tinggi. Mempertimbangkan hal tersebut, maka dilakukan optimasi lebih lanjut terkait tingkat *safety time* yang dapat diterapkan di perusahaan dengan batasan tidak diperkenankan terjadi *stock out* dan sepanjang periode level *inventory* tidak pernah berada di bawah *safety time*. Optimasi dilakukan dengan menggunakan model yang sudah dibangun namun kali ini dengan *safety time* sebagai variabel keputusannya. Proses iterasi dihentikan pada saat tidak terdapat periode dimana level *inventory* berada di bawah tingkat *safety time*. Tabel 3 menunjukkan perbandingan tingkat *safety time* aktual dan setelah dilakukan optimasi.

Optimasi Penjadwalan

Model matematika yang dibangun telah melalui proses verifikasi dan validasi. Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan memastikan seluruh *constraints* dalam model telah sesuai dengan kondisi yang ada dan dibandingkan dengan penjadwalan yang diterapkan saat ini. Model diselesaikan dengan menggunakan *software* LINGO 9.0 dengan menggunakan nilai *safety time* optimal dan dikonversikan dalam bentuk minimum *inventory* (y) dan parameter model yang telah diberikan. Penjadwalan dilakukan untuk periode satu tahun (52 minggu). Tabel 4 menunjukkan contoh penjadwalan kedatangan material dari masing-masing *supplier* untuk bahan baku A untuk minggu ke-1 sampai dengan minggu ke-52 hasil *output* dari LINGO 9.0. Sebagai contoh, pada minggu ke-14 dilakukan pengiriman bahan baku A dari *supplier* A1 sebanyak 550 ton. Bahan baku ini akan sampai di pelabuhan Semarang pada minggu ke-18 dan selanjutnya akan diproses di *Customs Clearance* (CC). Waktu yang diperlukan untuk proses CC sekitar 1 minggu. Setelah selesai proses CC, pada minggu ke-19 selanjutnya bahan baku akan menjalani proses *Quality Inspection* (QI). Apabila lolos QI, maka status bahan baku selanjutnya akan menjadi *Stock Release* (SR) dan siap digunakan untuk produksi, namun apabila tidak lolos QI, maka bahan baku akan di-*reject* dan statusnya menjadi OUT. Permintaan setiap minggu berfluktuasi dan mengikuti distribusi normal. Sisa stock ditentukan berdasarkan sisa stock periode sebelumnya, jumlah total *stock release*, dan *demand* pada minggu tersebut. Total bahan baku yang harus ditangani merupakan penjumlahan dari sisa *stock* dan bahan baku yang masih berada pada tahap QI.

Tabel 4. Hasil optimasi penjadwalan bahan baku A (dalam ton)

Week		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Supplier A1	SHIP	0	0	300	425	0	0	0	375	550	0	0	325	325
	CC	250	450	650	0	0	0	0	300	425	0	0	375	550
	QI	275	250	450	650	0	0	0	0	300	425	0	0	375
	SR	275	250	450	650	0	0	0	0	300	425	0	0	375
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Supplier A2	SHIP	0	0	125	0	0	0	0	350	0	525	200	0	0
	CC	0	0	0	275	0	75	125	0	0	0	350	0	0
	QI	0	0	0	0	275	0	75	125	0	0	0	350	0
	SR	0	0	0	0	275	0	75	125	0	0	0	350	0
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Supplier A3	SHIP	0	0	0	100	100	400	0	0	0	0	0	50	50
	CC	0	0	0	0	0	0	0	100	100	400	0	0	0
	QI	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	400	0	0
	SR	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	400	0	0
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demand	257,55	458,22	394,19	271,79	36,81	305,85	109,37	414,17	307,21	499,88	433,63	409,01	487,32	
Jml_SR	275	250	450	650	275	0	75	125	400	525	400	350	375	
Sisa_stock	788,69	580,47	636,28	1014,49	1252,67	946,82	912,45	623,28	716,07	741,20	707,57	648,56	536,24	
Min inventory	627,72	511,06	287,62	168,33	352,88	287,46	546,27	522,16	686,34	609,50	618,56	624,58	519,94	
Inventory status	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
Total MH	1046,24	1038,69	1030,47	1286,28	1289,49	1252,67	1029,49	1021,82	1023,28	1241,08	1141,2	1057,57	1023,56	

Tabel 4. Hasil optimasi penjadwalan bahan baku A (Lanjutan)

Week		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Supplier A1	SHIP	550	0	0	0	600	275	0	0	0	0	0	275	500
	CC	0	0	325	325	550	0	0	0	275	600	0	0	0
	QI	550	0	0	325	325	550	0	0	0	275	600	0	0
	SR	550	0	0	325	325	550	0	0	0	275	425	0	0
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600	0
Supplier A2	SHIP	0	0	0	425	0	0	0	0	450	0	0	325	0
	CC	525	200	0	0	0	0	375	425	0	0	0	275	450
	QI	0	525	200	0	0	0	375	425	0	0	0	0	275
	SR	0	525	200	0	0	0	375	425	0	0	0	0	275
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Supplier A3	SHIP	0	125	0	0	0	0	250	0	0	325	0	0	0
	CC	0	0	50	50	0	125	0	0	0	0	250	0	0
	QI	0	0	0	50	50	0	125	0	0	0	0	250	0
	SR	0	0	0	50	50	0	125	0	0	0	0	250	0
	OUT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demand	319,20	466,84	369,45	372,99	296,26	376,90	376,48	415,01	265,94	347,69	327,64	281,46	441,73	
Jml_SR	550	525	200	375	375	550	125	375	425	275	425	250	275	
Sisa_stock	767,04	825,20	655,75	657,76	736,50	909,60	658,12	618,11	777,17	704,48	801,85	770,38	603,65	
Min inventory	625,70	529,84	500,38	458,33	538,78	554,93	529,37	415,44	488,57	448,66	471,41	585,59	477,36	
Inventory status	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	
Total MH	1086,24	1292,04	1025,20	1030,75	1032,76	1286,50	1034,60	1033,12	1043,11	1052,17	1304,48	1051,85	1045,38	

Keterangan simbol:

- SHIP = Jumlah bahan baku yang dikirimkan
- CC = *Customs Clearance*
- QI = *Quality Inspection*
- SR = *Stock Release*
- OUT = Material yang tidak lolos QI
- Jml_SR = Jumlah total *stock release* dari ke-3 *supplier*
- TOTAL_MH = Total material handling (jumlah total bahan baku yang harus dikelola)

Pada status inventory, status “yes” menunjukkan bahwa jumlah inventory yang dimiliki berada di atas batas minimal inventory, sedangkan status “no” menunjukkan bahwa jumlah inventory yang dimiliki berada di bawah batas minimal inventory.

Dari hasil penjadwalan yang diperoleh, didapatkan total biaya *inventory* untuk masing-masing bahan baku yang ditunjukkan pada Tabel 5. Meskipun total biaya *inventory* yang dikeluarkan perusahaan saat ini tidak dapat ditampilkan dalam makalah ini karena merupakan rahasia perusahaan, namun berdasarkan evaluasi bersama dengan pihak perusahaan dapat disimpulkan bahwa total biaya *inventory* model lebih rendah daripada total biaya

inventory yang dikeluarkan perusahaan saat ini. Apabila dievaluasi lebih lanjut, terdapat perbedaan antara hasil penjadwalan yang diperoleh dengan penjadwalan yang dilakukan perusahaan saat ini yang menyebabkan perbedaan biaya *inventory* yang dikeluarkan. Pada sistem nyata, pemesanan cenderung dilakukan dalam jumlah kecil namun dengan frekuensi tinggi, sehingga pemesanan bahan baku lebih tersebar dalam beberapa periode.

Pada hasil penjadwalan berdasarkan model, pemesanan cenderung dilakukan dalam jumlah yang lebih besar karena pola inilah yang memungkinkan untuk mendapatkan total biaya *inventory* yang rendah. Sebagai perbandingan, frekuensi kedatangan material saat ini sebanyak 88 kali dalam setahun, sedangkan berdasarkan model sebanyak 59 kedatangan. Selain itu, *safety time* yang digunakan di model juga lebih rendah daripada *safety time* yang digunakan oleh saat ini. Pengaruh perbedaan penggunaan *safety time* ini terlihat dari rata-rata sisa *stock* tiap minggunya. Rata-rata sisa *stock* berdasarkan model sebesar 781,24 ton per minggu, sedangkan rata-rata sisa *stock* saat ini sebesar 1613,48 ton per minggu. Hal ini berpengaruh terhadap besarnya biaya *inventory* dan *opportunity cost* sebagai akibat dari penyimpanan modal dalam bentuk *inventory*, dan *handling cost* meskipun besaran *handling cost* dalam kasus ini relatif kecil dibandingkan dengan *purchasing cost* dan *opportunity cost (tied up capital cost)*. Sistem pemesanan yang dilakukan oleh perusahaan mempunyai kecenderungan menggunakan pola pengalaman dan pengulangan dalam melakukan pemesanan oleh perusahaan untuk membangun hubungan jangka panjang dengan *supplier*, dimana pola ini belum digunakan sebagai batasan pada model yang dibangun.

Simpulan

Penelitian ini membangun model matematika untuk menentukan waktu kedatangan dan kuantitas pengiriman dari beberapa *supplier*, dengan mempertimbangkan ketidakpastian permintaan dan *lead time* dari setiap *supplier* serta batasan dari perusahaan terkait batas maksimal *material handling* dan batas minimal *inventory* (dinyatakan dengan *safety time*) yang ada di *warehouse*. Setiap *supplier* mempunyai parameter yang berbeda terkait harga, *lot size*, nilai kontrak (total jumlah pesanan), dan jenis kontrak. Hasil studi kasus menunjukkan bahwa model yang dibangun telah dapat digunakan untuk menentukan optimum *safety time* dengan mempertimbangkan fluktuasi permintaan dan selanjutnya nilai *safety time* optimum tersebut digunakan untuk menghasilkan jadwal kedatangan dan kuantitas bahan baku dengan total biaya *inventory* yang lebih rendah dari total biaya saat ini.

Terdapat beberapa penelitian lanjutan yang akan dilaksanakan. Pertama, dalam penelitian ini jumlah *supplier* beserta jumlah total pengirimannya selama setahun telah ditentukan berdasarkan target produksi tahunannya. Penelitian selanjutnya akan menentukan jumlah *supplier* optimum beserta kuantitas pemesanan optimum dari setiap *supplier*. Kedua, penjadwalan *supplier* dan kuantitas pengirimannya akan diintegrasikan dengan penjadwalan produksi.

Daftar Pustaka

1. Arda, Y., and Hennet, J.C., Inventory Control in a Multi-Supplier System, *International Journal Production Economics*, 104(2), 2006, pp. 249–259.
2. Ganeshan, R., managing Supply Chain Inventories: A Multiple Retailer, One Warehouse, Multiple Supplier Model, *International Journal Production Economics*, 59, 1999, pp. 341–354.
3. Minner, S., Multiple-Supplier Inventory Models in Supply Chain Management: A Review, *International Journal Production Economics*, 81-82, 2003, pp. 265-279.
4. Sawik, T., Joint Supplier Selection and Scheduling of Customer Orders under Disruption Risks: Single vs Dual Sourcing, *Omega*, 43, 2014, pp 83-95.
5. Thomas, D.J., and Tyworth, J.E., Pooling Lead-Time Risk by Order Splitting: A Critical Review, *Transportation Research Part E*, 42, 2006, pp. 245–257.
6. Silberman, L., and Minner, S., A Multiple Sourcing Inventory Model under Disruption Risk, *International Journal Production Economics*, 149, 2014, pp.47-46.
7. Song, D.P., Dong, J.X., and Xu, J., Integrated Inventory Management and Supplier Base Reduction in A Supply Chain with Multiple Uncertainties, *European Journal of Operational Research*, 232, 2014, pp. 522-536.
8. Yin, S., Nishi, T., and Grossmann, I.E., Optimal Quantity Discount Coordination for Supply Chain Optimization with One Manufacturer and Multiple Suppliers under Demand Uncertainties, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76, 2015, pp. 1173-1184.
9. Abginehchi, S., Farahani, R.Z., and Rezapour, S., A Mathematical Model for Order Splitting in A Multi-Supplier Single-Item Inventory System, *Journal of Manufacturing Systems*, 32, 2013, pp. 55-67.
10. Guo, Y., and Ganeshan, R., Are More Supplier Better?, *Journal of the Operational Research Society*, 46, 1995, pp. 892–895.
11. Geetha, K.K. and Achary, K.K., Are More Suppliers Better?: Generalizing the Guo and Ganeshan Procedure, *Journal of the Operational Research Society*, 51. 2000, pp.1179–1183.
12. Chang, C.T., Chin, C.L., and Lin, M.F., On the Single Item Multi-Supplier System with Variable Lead-Time, Price-Quantity Discount, and Resource Constraints, *Applied Mathematics and Computation*, 182, 2006, pp.89-97.
13. Lee, A.H.I., Kang, H.Y., Lai, C-M., and Hong, W.Y., An Integrated Model for Lot Sizing With Supplier Selection and Quantity Discounts,

- Applied Mathematical Modelling*, 37, 2013, pp. 4733-4746.
14. Meena, P.L., and Sarmah, S.P., Multiple Sourcing under Supplier Failure Risk and Quantity Discount: A Genetic Algorithm Approach, *Transportation Research Part E*, 50, 2013, pp. 84-97
 15. Hum, S. H., Sharafali M., and Teo, C. P., Staggering Periodic Replenishment in Multivendor JIT Environments, *Operations Research*, 53(4), 2005, pp. 698-710.
 16. Osman, H., dan Demirli, K., Integrated Safety Stock Optimization for Multiple Sourced Stock-points Facing Variable Demand and Lead Time, *International Journal Production Economics*, 135, 2012, pp. 299-307