

Model Pemulihan Sistem Inventori yang Mengalami Gangguan Bekalan dan Ketidakpastian Kualiti

(A Recovery Model for an Inventory System Subject to Supply Disruption and Quality Uncertainty)

Nurul Anis Mohd Sudin^a, Hawa Hishamuddin^{a*}, Muhammad Idham Sabtu^a, Hilmi Hisyam Naimin^a & Nurhadi Siswanto^b

^aDepartment of Mechanical and Manufacturing Engineering,
Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

^bDepartment of Industrial Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya, Indonesia

*Corresponding author: hawa7@ukm.edu.my

Received 06 December 2017, Received in revised form 14 January 2018

Accepted 15 April 2020, Available online 30 May 2020

ABSTRAK

Risiko gangguan rantaian bekalan boleh berlaku berdasarkan pelbagai senario yang mengakibatkan gangguan hampir tidak dapat dielakkan. Kajian terdahulu tidak mempertimbangkan ketidakpastian terhadap kualiti yang boleh dipengaruhi oleh gangguan bekalan tersebut. Kajian ini membangunkan model pemulihan pengeluaran bagi satu peringkat pengeluaran dan sistem inventori yang mengalami gangguan bekalan dan ketidakpastian kualiti. Sistem inventori berkemungkinan mengalami pelbagai jenis gangguan seperti gangguan rantaian bekalan, gangguan pengangkutan dan gangguan berdasarkan kualiti produk yang dihasilkan. Oleh itu, pihak pengurusan perlu membuat keputusan yang pantas dan efisien bagi mengatasi masalah gangguan tersebut dengan mempertimbangkan kos yang paling minimum. Model pemulihan ini dibangunkan bagi membantu pihak pengurusan dalam membuat keputusan yang tepat dan tidak merugikan pengeluaran semasa gangguan berlaku. Contoh berangka digunakan untuk membentangkan pengujian keberkesanan dan manfaat model matematik bagi mengatasi masalah gangguan bekalan dan ketidakpastian yang disebabkan oleh proses pengeluaran. Seterusnya, model tersebut dioptimumkan dengan menggunakan perisian LINGO. Kajian ini menunjukkan bahawa jadual pemulihan yang optimum diperolehi berdasarkan peratusan produk yang mengalami masalah kualiti dan juga parameter kos yang lain. Sekiranya peratusan produk rosak pada pengeluaran meningkat turut mengakibatkan berlakunya peningkatan keseluruhan kos. Maka, model kajian ini dilihat berpotensi sebagai alat dalam membantu pihak pengurusan membuat keputusan yang tepat pada pelan pemulihan apabila berlakunya gangguan bekalan.

Kata Kunci: Gangguan rantaian bekalan, Ketidakpastian kualiti, Model inventori.

ABSTRACT

The risk of supply chain disruptions can occur from a variety of events that make disruptions almost inevitable. Previous studies did not consider the quality uncertainty that can be affected by supply shortages. This paper presents a disruption recovery model for a single stage production and inventory system with consideration of disruption and quality uncertainties. The inventory system may experience a variety of disruptions such as supply chain disruptions, transportation disruptions and interruptions in the quality of the product. Therefore, management must make decisions quickly and efficiently to overcome these disruptions with minimum cost possible. The disruption recovery model was developed to help managers in making the right decisions and without affecting the production when the interruptions happen. Numerical examples are used to illustrate and examine the effectiveness and benefits of the mathematical model in solving the problem of supply disruption and quality uncertainty caused by the production process. Next, the model is optimized using LINGO software. This study showed that the optimal recovery schedule obtained is dependent on the percentage of products that have quality problems as well as other cost parameters. If the percentage of damaged goods in the production increases, the overall cost for recovery will also increase dramatically. Thus, the proposed model is seen to be a very useful tool to help managers make the right decisions on the optimal recovery plan during disruption occurrences.

Keywords: Supply chain disruption; Quality uncertainty; Inventory model.

Gangguan rantaian bekalan dan ketidakpastian kualiti pada produk merupakan cabaran yang perlu dihadapi oleh setiap organisasi dalam setiap kitaran pengeluaran. Rantaian bekalan adalah satu sistem yang terdiri daripada organisasi, sumber manusia, teknologi, aktiviti, maklumat dan sumber-sumber yang terlibat dalam pemindahan produk dari pembekal kepada pelanggan. Aktiviti dalam rantaian bekalan mempunyai peranan dalam mengubah bahan mentah menjadi produk siap yang dihantar kepada pelanggan. Dalam setiap organisasi, rantaian bekalan wujud dalam bentuk yang berbeza-beza dan bergantung kepada saiz organisasi dan jenis produk yang dihasilkan. Gangguan rantaian bekalan ini boleh merumitkan banyak pihak seperti pembekal dan juga pengguna akhir dalam rantaian hubungan yang boleh memberikan pelbagai risiko dan keburukan kepada semua pihak yang terlibat (Pfohl et al., 2010). Keperluan terhadap penyelarasan semua aktiviti-aktiviti ini telah mendorong banyak kajian rantaian bekalan yang lebih cekap dijalankan (Paul et al., 2014).

Secara umumnya, pelbagai kajian terkini mengenai gangguan dalam proses penyelarasan rantaian bekalan telah dibincangkan oleh banyak penyelidik. Schmitt et al. (2017) mengurangkan gangguan dalam rantaian bekalan multi-eselon dengan menggunakan penyusunan adaptif yang mendedahkan bahawa kesan gangguan bergantung pada lokasi. Manakala, Paul et al. (2017) memperkenalkan model perancangan mitigasi untuk pengurangan gangguan dalam rantaian bekalan dengan pertimbangan pelbagai kilang pengeluaran, pusat pengedaran dan peruncit. Seterusnya, Park et al. (2016) memperkenalkan pelan tindakan mitigasi risiko yang membantu firma mengendalikan risiko dengan lebih baik disamping menilai kesan keselamatan rantaian bekalan dan keselamatan stok keselamatan terhadap gangguan rantaian bekalan. Li et al. (2017) memperkenalkan strategi dinamik gangguan bekalan dalam sistem inventori pengeluaran dengan pertimbangan masa pendulu (lead time) sumber sokongan, masa permulaan gangguan, kos kehilangan jualan, kos sandaran dan kadar pesanan susulan (backorder). Manakala, Jabbarzadeh et al. (2016) memperkenalkan reka bentuk rantaian bekalan yang berdaya tahan terhadap gangguan utama, gangguan bekalan dan permintaan yang berdasarkan faktor seperti strategi peningkatan kemudahan, turun naik permintaan, variasi kapasiti bekalan dan kekangan belanjawan.

Namun, kajian mengenai ketidakpastian kualiti produk dan hubungannya dengan gangguan bekalan kurang mendapat perhatian oleh para penyelidik. Sebenarnya, setiap organisasi menghadapi masalah berkaitan kualiti, walaupun telah terdapat banyak pendekatan yang telah diambil bagi mengatasi masalah ini. Apabila pembekal

mengalami masalah ketidakpastian kualiti, kadar kepercayaan dan hubungan antara pengedar dan peruncit boleh menjadi lemah dan menyebabkan mereka terpaksa melakukan pemeriksaan kualiti yang kerap pada produk pembekal (Lee et al. 2013). Keadaan ini menyebabkan jadual pengeluaran pembekal terganggu dan meningkatkan kos inventori dan kos pegangan yang sedia ada.

Dengan menganggap ketidakpastian kualiti pada pengeluaran produk menyebabkan peruncit terpaksa memeriksa produk sebelum menjualnya kepada pengguna. Seterusnya, penyelidik tersebut melanjutkan kajiannya dengan menganggap bahawa peruncit tidak memeriksa produk dengan sempurna sebelum menjual kepada pelanggan untuk menjadikan pembangunan model matematik adalah lebih realistik (Lee et al. 2013). Mayer et al. (2004) pula menyatakan isu-isu yang berbeza di dalam kawalan kualiti. Peruncit atau pelanggan boleh memeriksa bukan sahaja produk yang dihantar (pemeriksaan bekalan) tetapi juga boleh memeriksa kilang pembuatan (plant inspection). Dengan meningkatkan kekerapan pemeriksaan kilang oleh pembekal atau peruncit ini, mampu mengurangkan kos margin pada pemeriksaan bekalan oleh pengeluaran tersebut. Berbeza dengan kajian yang dilakukan oleh Lotfi et al. (2013) yang ingin meningkatkan kerjasama antara pengilang, pembekal dan pelanggan agar kualiti produk dapat dipertingkatkan. Seterusnya, peningkatan kualiti perkhidmatan dan produk syarikat boleh menawarkan nilai tambah kepada pelanggan dengan menilai peningkatan pasaran dimana pengurus boleh menilai penambahbaikan ini. Oleh itu, terdapat kepentingan kajian yang menguji kesan kelancaran rantaian bekalan terhadap kualiti produk yang merupakan suatu keupayaan untuk berdaya saing. (Lotfi et al. 2013).

Oleh itu, setiap syarikat haruslah mengambil langkah yang proaktif bagi mengatasi masalah gangguan bekalan dan ketidakpastian kualiti ini. Bagi memastikan kos yang ditanggung oleh syarikat adalah pada tahap yang minimum, pengurusan yang tepat dalam menangani masalah ini haruslah dilakukan dengan segera (Snyder et al. 2016). Pengurusan rantaian bekalan dan ketidakpastian kualiti sebenarnya saling berkait rapat antara satu sama lain. Pengilang haruslah memastikan kualiti produk mereka pada setiap kitaran pengeluaran dalam keadaan baik sebelum dihantar kepada pembekal atau peruncit. Sekiranya kualiti produk terganggu, rantaian bekalan turut sama terkesan akibat dari permasalahan ini. Sehubungan dengan itu, melalui pembangunan model pemulihan ini dapat membantu syarikat dalam menangani gangguan pengeluaran dan kualiti yang dialami oleh syarikat agar jadual pengeluaran kembali seperti asal.

Bagi mengisi jurang dalam kajian kepustakaan semasa, tujuan kajian ini adalah untuk

melihat kesan-kesan yang mungkin berlaku terhadap sistem inventori apabila rantaian bekalan mengalami gangguan dan ketidakpastian kualiti. Kajian ini memfokuskan kepada inventori yang optimum dan pengurusan pemulihan yang membawa kepada

sistem pemulihan yang optimum. Model matematik yang dibangunkan ini digunakan bagi mengilustrasikan masalah tersebut. Perisian LINGO digunakan untuk menyelesaikan model matematik dan menjana penyelesaian pada kajian ini.

KAEDAH KAJIAN

Konsep atur cara pemulihan dalam kajian ini diadaptasikan daripada kajian Xia et al. (2004), Hishamuddin et al. (2012) dan juga Wei (1980). Walau bagaimanapun, model kajian Xia et al. (2004) mengembangkan strategi pemulihan untuk sistem Kuantiti Pengeluaran Ekonomi (EPQ) yang merujuk kepada gangguan dalam bentuk perubahan parameter. Manakala, Hishamuddin et al. (2010, 2011) telah melakukan kajian yang melibatkan gangguan pada tettingkap pengeluaran untuk Kuantiti Pengeluaran Ekonomi (EPQ). Seterusnya, Hishamuddin et al. (2012) telah membangunkan satu model pemulihan gangguan bagi satu tahap pengeluaran pada sistem inventori dalam tempoh masa tertentu semasa operasi pengeluaran dijalankan. Berbeza dengan Xia et al. (2004), model matematik yang dicadangkan mempertimbangkan gangguan dalam penjadualan pengeluaran dan menawarkan teknik untuk menentukan pelan pemulihan tettingkap yang optimum. Wei (1980) pula membina model berdasarkan kesan produk

yang rosak terhadap struktur dan kos sistem inventori. Berbeza dengan kajian tersebut, model matematik yang dicadangkan pada kajian ini melibatkan gangguan rantaian bekalan semasa pengeluaran dan ketidakpastian kualiti pada produk. Model matematik ini juga menganggap kebarangkalian berlaku kecacatan pada produk adalah sama pada setiap kitaran. Model ini juga hanya mengambil kira kecacatan produk yang dikesan sebelum penghantaran kepada pelanggan dan menganggarkan produk yang dihantar kepada pelanggan adalah mempunyai kualiti yang paling ideal. Model matematik tersebut juga dapat menunjukkan kos yang optimum dapat dicapai semasa gangguan berlaku disamping dapat menghasilkan produk yang sempurna mengikut jadual yang telah ditetapkan dengan mengambil kira kecacatan produk pada setiap kitaran. Sebelum pembangunan model dijalankan, tatatanda model dibentangkan seperti berikut:

Parameter	Perincian
A	Kos persediaan untuk setiap kitaran (\$/persediaan)
D	Kadar permintaan untuk produk (unit, tahun)
H	Kos pegangan inventori tahunan (\$/unit, tahun)
P	Kadar pengeluaran (unit/ tahun)
T_d	Tempoh gangguan
u	Tempoh masa henti untuk kitaran normal (kos pemasangan + masa melahu), ($t - q/p$)
t_e	Masa permulaan pemulihan tettingkap
t_f	Masa tamat pemulihan tettingkap
T	Kitaran masa pengeluaran untuk kitaran yang biasa (Q/D)
ρ	Masa pengeluaran aktif untuk satu kitaran normal (Q/P)
B	Unit tempahan yang dihasilkan kemudian bagi unit masa tertentu (\$/unit/masa)
L	Unit kerugian kos jualan
T_i	Pengeluaran aktif untuk satu kitaran i bagi pemulihan tettingkap (X_i/P)
S_t	Masa pemasangan untuk satu kitaran
w	Peratusan produk yang rosak dalam setiap kitaran, di mana $0 < w < 1$
f	Fungsi penalti disebabkan penangguhan dalam pemulihan jadual yang asal
Pemboleh ubah keputusan	Perincian
X_i	kuantiti pengeluaran untuk satu kitaran i bagi pemulihan tettingkap (unit)
Q	saiz lot pengeluaran dalam jadual asal (unit)
n	Bilangan pemasangan

Model matematik ini dibangunkan berdasarkan andaian bahawa jadual pengeluaran pensaisan lot yang baru perlulah melebihi saiz lot yang efektif (kuantiti barang yang tidak rosak dan boleh dijual). Dengan menentukan masa pemulihan sebagai n , iaitu masa normal kitaran pengeluaran dari permulaan gangguan. Semasa tempoh

pemulihan, jadual pengeluaran yang diubahsuai dengan panjang kitaran n dalam jadual pemulihan adalah sama dengan kitaran n dalam kitaran asal. Walau bagaimanapun, jadual pemulihan termasuk dalam tempoh gangguan, T_d . Seperti model pengurusan gangguan lain, tempoh pemulihan ditakrifkan sebagai pemulihan jadual pengeluaran

$$\begin{aligned}
 &= \frac{H}{2} \left[(X_1(1-w)) \frac{X_1}{P} + (X_2(1-w)) \frac{X_2}{P} + \dots + (X_n(1-w)) \frac{X_n}{P} \right] \\
 &= \frac{H}{2P} [(X_1(1-w))X_1 + (X_2(1-w)) + \dots + (X_n(1-w))X_n] \\
 &= \frac{H}{2P} [X_1^2(1-w) + X_2^2(1-w) + \dots + X_n^2(1-w)] \\
 &= \frac{H}{2P} \sum_{i=1}^n X_i^2 (1-w) \tag{3}
 \end{aligned}$$

Kos untuk tempahan yang dihasilkan kemudian boleh diketahui dengan mendarabkan unit tempahan yang belum dihasilkan, B dengan unit tempahan yang dihasilkan kemudian dalam setiap kitaran I dan penangguhan masa, dimana penangguhan masa adalah bernilai positif.

$$B \left(\sum_{i=1}^n X_i \cdot Delay \right) \tag{4}$$

Penangguhan untuk tempahan yang belum dihasilkan dalam setiap kitaran i dikira seperti di bawah;

$$Delay_i = T_d + i.S_i + \sum_{j=1}^i \frac{X_j(1-w)}{P} - i \left(\frac{Q}{P} \right) - u(i-1) \tag{5}$$

Oleh itu, kos untuk tempahan yang belum dihasilkan ialah;

$$B \left(\sum_{i=1}^n X_i(1-w) \left(T_d + i.S_i + \sum_{j=1}^i \frac{X_j(1-w)}{P} - i \left(\frac{Q}{P} \right) - u(i-1) \right) \right) \tag{6}$$

Manakala, untuk mengetahui kos kerugian jualan dalam tettingkap pemulihan:

$$\begin{aligned}
 &= L(nQ - X_1(1-w) - X_2(1-w) - \dots - X_n(1-w)) \\
 &= L \left(nQ - \sum_{i=1}^n X_i(1-w) \right) \tag{7}
 \end{aligned}$$

Fungsi penalti kos yang diperolehi dalam model ini adalah berdasarkan kajian Hishamuddin et al. (2010), dimana andaian merujuk kepada semakin lama masa yang diambil untuk mendapatkan semula jadual asal, semakin tinggi kos penalti yang terlibat. Kos penalti ini mewakili kos tambahan yang ditanggung oleh sistem apabila terdapat perubahan dalam pelan asal. Dalam model ini, fungsi bilangan kitaran untuk tettingkap pemulihan ialah seperti berikut:

$$= f(n^2) \tag{8}$$

Berdasarkan hasil tambah semua kos di atas, jumlah kos berkaitan atur cara pemulihan dapat dicari. Oleh itu, model matematik tersebut dapat dirumuskan seperti berikut;

$$\begin{aligned}
 &= MinTC(X_i, n) = (A.n) + \left(\frac{H}{2P} \sum_{i=1}^n X_i^2(1-w) \right) \\
 &+ \left(B \left(\sum_{i=1}^n X_i(1-w) + X \left(T_d + i.S_i + \sum_{j=1}^i \frac{X_j(1-w)}{P} - i \left(\frac{Q}{P} \right) - u(i-1) \right) \right) \right) \\
 &+ f(n^2) + L(nQ) - \sum_{i=1}^n X_i(1-w) \tag{9}
 \end{aligned}$$

Tertakhluk kepada syarat-syarat yang berikut:

$$X_i(1-w) \leq Q \tag{10}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i(1-w) \leq P(nT - nS_i - T_d) \tag{11}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i(1-w) \geq nTD - \left(nQ - \sum_{i=1}^n X_i(1-w) \right) \tag{12}$$

$$\sum_{j=1}^i X_j(1-w) \geq i.Q + (i-1)P.u - P.T_d - P.i.S_i \tag{13}$$

Hasil keputusan untuk setiap pemboleh ubah adalah sentiasa positif. Fungsi objektif (9) terdiri daripada empat komponen kos yang telah diasingkan di dalam parentesis berbeza seperti yang dinyatakan di atas. Persamaan (10) memastikan bahawa saiz lot pengeluaran yang melibatkan kuantiti produk yang baik dan juga kuantiti produk yang mengalami gangguan kualiti dalam jadual pemulihan adalah kurang berbanding dengan jadual asal disebabkan oleh keperluan penghantaran dan pengangkutan. Manakala, persamaan (11) mewakili had kapasiti pengeluaran dengan mengambil kira produk yang mengalami masalah kualiti. Persamaan (12) pula memastikan bahawa semua permintaan diambil kira termasuk juga produk yang mengalami kecacatan. Persamaan (13) menjamin pesanan yang dihasilkan kemudiannya ialah tidak negatif. Dengan menyelesaikan persamaan (10)-(13), pelan pemulihan yang optimum boleh diperolehi untuk sistem pengeluaran yang mengalami gangguan dan juga ketidakpastian kualiti. Tanpa gangguan dan juga ketidakpastian kualiti pada model matematik tersebut kembali kepada model EPQ yang asal seperti persamaan (1) di atas.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Analisis Ujikaji

Lima percubaan ujikaji telah dijalankan dengan menggunakan perisian pengkomputeran bagi membandingkan nilai kos keseluruhan, TC di dalam perisian komputer LINGO dan Microsoft Excel. Parameter tersebut ditunjukkan pada Jadual 1. Kaedah penyelesaian dijalankan ke atas kedua-dua perisian dan hasil keputusan eksperimen memberikan satu keputusan yang ideal. Peratusan ralat bagi kedua-dua kaedah ini menunjukkan ketiadaan ralat yang ketara bagi eksperimen rawak

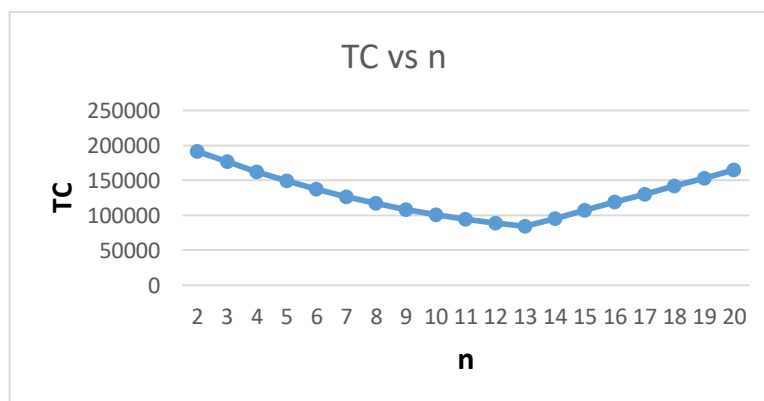
ini. Berpandukan pada Jadual 2, sisihan perbezaan nilai TC adalah kecil antara perisian LINGO dan Microsoft Excel yang boleh diabaikan.

JADUAL 1. Parameter untuk lima ujikaji

Ujikaji	A	H	B	L	T_d	S_t	w	n
1	20	1.2	10	15	0.003	0.000057	0.1	13
2	20	2.4	10	15	0.003	0.000057	0.3	13
3	50	2.4	10	15	0.003	0.000057	0.7	13
4	20	1.2	100	15	0.003	0.000057	0.2	13
5	15	2.4	100	1	0.003	0.000057	0.9	13

JADUAL 2. Perbandingan keputusan antara LINGO dan Microsoft Excel

Ujikaji	Kos Keseluruhan TC menggunakan LINGO	Kos Keseluruhan TC menggunakan EXCEL	Perbezaan
1	16020.95	16020.95	0.3
2	98936.67	98936.67	0.2
3	125697.40	125697.40	0.01
4	113622.40	113622.40	0.03
5	894474.8	894474.8	0.01



RAJAH 2. TC melawan n

Jumlah kos keseluruhan (TC) yang bergantung kepada n yang telah diplotkan menggunakan data dalam Jadual 1 dan ditunjukkan pada Rajah 2. Sumber data yang diperolehi pada Jadual 1 adalah berdasarkan data contoh berangka yang dihasilkan secara rawak namun bersesuaian dengan unit dimensi bagi setiap parameter. Rajah yang diplotkan menunjukkan fungsi lengkung cembung (*convex function curve*), yang membuktikan model yang dibina memberikan penyelesaian yang baik. Melalui Rajah 2 di atas, dapat diperhatikan bahawa nilai kos keseluruhan yang optimum, TC diperolehi pada $n = 13$. Daripada analisis ke atas ujikaji yang dijalankan, didapati peratusan barang yang rosak, w , mempengaruhi kos-

kos yang lain iaitu, kos persediaan ($TC1$), kos pegangan inventori ($TC2$), kos pesanan susulan ($TC3$) dan kos kerugian jualan ($TC4$). Sekiranya nilai w meningkat, parameter kos seperti $TC2$, $TC3$ dan $TC4$ meningkat secara mendadak. Perkara ini menjelaskan bahawa kos tersebut menampung kekurangan pada permintaan pengeluaran asal.

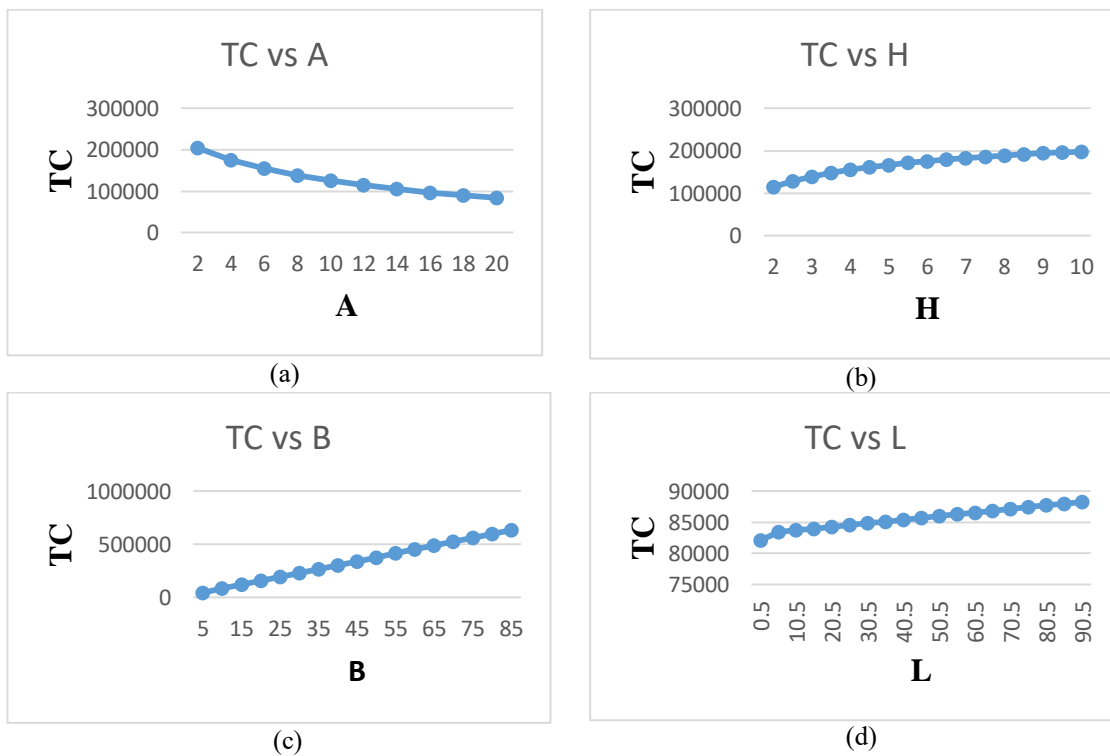
Analisis keputusan menunjukkan bahawa penyelesaian untuk kos keseluruhan ini adalah bergantung kepada hubungan antara kos tempahan yang belum dihasilkan oleh parameter kos kerugian jualan dan juga peratusan nilai produk yang rosak dalam setiap pengeluaran. Dengan terjadinya produk yang rosak dalam sistem inventori ini diramalkan boleh mengganggu sistem dan seterusnya

mengakibatkan kos operasi yang lebih tinggi di dalam sistem yang turut meningkatkan kos pegangan inventori. Kos pegangan inventori ini semakin meningkat kerana pengeluaran untuk pemulihan adalah meningkat bagi memenuhi kekurangan pengeluaran akibat masalah kualiti inventori. Selain itu, produk yang rosak ini juga mengurangkan kuantiti asal pesanan yang optimum sekaligus meningkatkan kos pegangan inventori. Kos pegangan inventori ini adalah meningkat kerana pengeluaran bagi pemulihan adalah meningkat bagi memenuhi kekurangan pengeluaran akibat permasalahan kualiti.

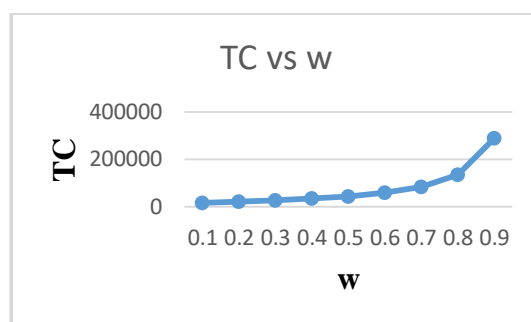
Analisis Sensitiviti

Sensitiviti analisis ini dilakukan bagi menunjukkan kesan kepelbagaian parameter terhadap kos keseluruhan yang berdasarkan model matematik yang dibangunkan. Rajah 3(a) menunjukkan kesan kos persediaan, A terhadap TC . Dapat diperhatikan bahawa semakin bertambah kos persediaan, A dari \$2-20 untuk satu kitaran semakin berkurang nilai TC . Seterusnya, menerusi Rajah 3(b) menunjukkan semakin meningkat nilai kos pegangan, H , semakin meningkat nilai kos keseluruhan, TC . Manakala pada Rajah 3(c) menunjukkan semakin bertambah nilai kos tempahan yang belum dihasilkan, B semakin bertambah nilai kos keseluruhan, TC . Rajah

3(d) menunjukkan nilai kos kerugian jualan, L dan kos keseluruhan, TC . Keputusan menunjukkan semakin bertambah kos kerugian jualan, L semakin bertambah nilai kos keseluruhan, TC . Secara ringkasnya, hubungan perubahan parameter model terhadap keputusan menunjukkan apabila kos persediaan, A meningkat diperhatikan TC menurun apabila parameter lain adalah tetap. Namun hubungan ini berbeza apabila B , H dan L meningkat diperhatikan TC adalah turut meningkat. Keadaan ini menunjukkan TC yang tinggi adalah dipengaruhi dengan peningkatan parameter B , H dan L dimana perhatian yang khusus perlu diberikan kepada parameter tersebut semasa pengeluaran dijalankan apabila berlakunya gangguan. Manakala, Rajah 4 pula menunjukkan nilai kos keseluruhan, TC dan nilai peratusan kerosakan pada produk, w . Kos keseluruhan meningkat secara mendadak apabila peratus produk yang rosak bertambah. Ini disebabkan oleh kos pegangan inventori yang meningkat dalam setiap kitaran pemulihan bagi memenuhi kekosongan tempahan pada jadual asal. Sekiranya, pemerhatian yang dijalankan 100% sempurna dan kesemua barang yang rosak ditemui dan dibuang dari lot pengeluaran, jumlah pegangan inventori untuk kitaran pengeluaran berkurangan sekaligus mengurangkan kos pegangan inventori.



RAJAH 3. TC melawan parameter (a) A , (b) H , (c) B dan (d) L



RAJAH 4. TC melawan w

KESIMPULAN

Apabila berlakunya senario pengeluaran yang sukar dijangka dan boleh mengganggu kelancaran pengeluaran produk, pihak pengurusan perlulah segera mencari langkah terbaik bagi memulihkan keadaan tersebut dengan pantas dan efisien. Pendekatan yang tepat perlulah dititikberatkan bukan sahaja ketika berlakunya gangguan malahan sebelum perkara tersebut terjadi. Model pemulihan tettingkap ini yang melibatkan gangguan bekalan dan ketidakpastian kualiti pada pengeluaran produk boleh membantu pihak syarikat menangani permasalahan pengeluaran dalam masa yang singkat serta meminimumkan kos kerugian. Tambahan pula, tidak semua syarikat mampu menyediakan inventori tambahan untuk dijadikan alternatif apabila gangguan berlaku. Dalam kajian ini, model pemulihan gangguan untuk satu peringkat pengeluaran dan inventori telah dianalisis yang tertakhluk kepada gangguan bekalan dan ketidakpastian kualiti. Hasil keputusan kajian ini menunjukkan bahawa jadual pemulihan yang optimum yang diperolehi adalah bergantung kepada peratusan produk yang mengalami masalah kualiti dan juga parameter kos yang lain. Sumbangan kajian berdasarkan model yang dibangunkan dilihat dapat memberikan satu alat dalam membuat keputusan kepada pihak pengurusan. Pembangunan model pemulihan untuk sistem inventori pengeluaran dengan gangguan dalam bentuk gangguan penjadualan masih tidak diketahui secara umum disamping model mempertimbangkan keseluruhan kos seperti kos persediaan, kos inventori, kos pesanan susulan, kos penalti dan kos kehilangan jualan. Pihak pengurusan perlu mempertimbangkan peratusan produk rosak dengan memperbaiki proses pengeluaran seperti penggunaan mesin yang efisien, tenaga mahir dan pengendalian peralatan yang cekap bagi mengurangkan produk rosak dan menghasilkan produk yang berkualiti. Secara tidak langsung, kos-kos lain seperti kos persediaan, kos inventori dan kos kehilangan jualan dapat diminimumkan. Kajian ini dapat dilanjutkan dengan pertimbangan beberapa aspek seperti pelan kontingensi bagi mengatasi gangguan yang berlaku

secara tiba-tiba, pengoptimuman bagi satu tempoh pemulihan tertentu, pertimbangan pelaburan teknologi dan multi-objektif model pemulihan gangguan rantaian bekalan. Akhir sekali, model kajian ini diharapkan dapat membantu pihak pengurusan dalam membuat keputusan yang tepat dan efisien pada pelan pemulihan apabila gangguan bekalan dan ketidakpastian kualiti terjadi.

PENGHARGAAN

Para penulis ingin berterima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia kerana membiayai penyelidikan ini di bawah geran GUP-2018-100.

RUJUKAN

- Hishamuddin, H., Sarker, R. A., & Essam, D. 2010. A recovery model for an economic production quantity problem with disruption. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 198–202.
- Hishamuddin, H., Sarker, R. A., & Essam, D. 2012. A disruption recovery model for a single stage production-inventory system. *European Journal of Operational Research*, 222(3): 464–473.
- Jabbarzadeh A., Fahimnia B., Sheu J.B. & Moghadam H.S. 2016. Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions. *Transportation Research Part B*, 94: 121–149.
- Lee, C. H., Rhee, B. D., & Cheng, T. C. E. 2013. Quality uncertainty and quality-compensation contract for supply chain coordination. *European Journal of Operational Research*, 228(3): 582–591.
- Li S., He Y. & Chen L. 2017. Dynamic strategies for supply disruptions in production-inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 194: 88–101.
- Lotfi, Z., Sahran, S., Mukhtar, M., & Zadeh, A. T. 2013. The Relationships between Supply Chain Integration and Product Quality. *Procedia Technology*, 11: 471–478.

- Mayer, K. J., Nickerson, J. A., & Owan, H. 2004. Are supply and plant inspections complements or substitutes? A strategic and operational assessment of inspection practices in biotechnology. *Management Science*, 50(8), 1064-1081.
- Park K., Min H. & Min S. 2016. Inter-relationship among risk taking propensity, supply chain security practices, and supply chain disruption occurrence. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 22(2): 120–130.
- Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. 2014. Real time disruption management for a two-stage batch production–inventory system with reliability considerations. *European Journal of Operational Research*, 237(1): 113-128.
- Paul S.K., Sarker R. & Essam D. 2017. A quantitative model for disruption mitigation in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 257(3): 881–895.
- Pfohl, H. C., Köhler, H., & Thomas, D. 2010. State of the art in supply chain risk management research: empirical and conceptual findings and a roadmap for the implementation in practice. *Logistics Research*, 2(1): 33–44.
- Schmitt T.G., Kumar S., Stecke K.E., Glover F.W. & Ehlen M.A. 2017. Mitigating disruptions in a multi-echelon supply chain using adaptive ordering. *Omega*, 68: 185–198.
- Snyder, L.V., Atan, Z., Peng, P., Rong, Y., Schmitt, A. J., & Sinsoysal, B. 2016. Or/ms models for supply chain disruptions: A review. *IIE Transactions*, 48(2): 89-109.
- Wei Shih. 1980. Optimal Inventory Policies when Stockouts Result from Defective Products. *International Journal of Production Research*, 18(6): 677-686.
- Xia, Y., Yang, M. H., Golany, B., Gilbert, S. M., & Yu, G. 2004. Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system. *IIE Transactions*, 36: 111-125.

