Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 2, Desember 2009, pp. 111-121
ISSN 1411-2485

MODEL PERSEDIAAN MINYAK SAWIT KASAR DI TANGKI TIMBUN PELABUHAN

Rika Ampuh Hadiguna
Sekolah Pascasarjana, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga, Bogor 16680
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Industri, Universitas Andalas
Limau Manis, Padang 25163
Email: hadiguna@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Makalah ini menjelaskan sebuah model persediaan minyak sawit kasar menggunakan logika fuzzy. Langkah awal yang dilakukan adalah menetapkan bentuk fuzzy pada permintaan dan produk dengan mutu kurang baik sebagai bilangan fuzzy segitiga ke dalam total biaya persediaan. Teknik defuzzifikasi yang digunakan adalah *signed distance* sehingga total biaya persediaan dapat diperoleh. Studi ini mengembangkan *economic production quantity* (EPQ) sebagai formulasi dasar. Hasil studi adalah peningkatan kadar risiko permintaan akan meningkatkan ukuran pemesanan sedangkan peningkatan kadar risiko mutu akan menurunkan ukuran pemesanan. Penambahan faktor risiko mutu pada model EPQ telah berhasil diterapkan dalam pengendalian persediaan minyak sawit kasar di tangki timbun pelabuhan.

Kata kunci: persediaan, minyak sawit kasar, *fuzzy*, risiko mutu, *signed distance*.

ABSTRACT

In this paper, we consider fuzzy inventory of crude palm oil. First, we determined the demand and imperfect product quality as triangular fuzzy numbers to obtain the fuzzy inventory total cost. Secondly, using the signed distance method to defuzzify, we get the estimate of the total cost in the fuzzy sense. Moreover, we also developed the economic production quantity (EPQ) as the initial formulation. The result of study can be stated as follows: if the level of demand risk is increased then the order will also be increased, while if the level of quality risk is increased then the order will be decreased. Additionally, the quality risk factor model is successfully applied in the inventory control of crude palm in harbor storage.

Keywords: *inventory, crude palm oil, fuzzy, risk of quality, signed distance.*

1. PENDAHULUAN

Kebijakan persediaan merupakan salah satu yang menjadi perhatian dalam manajemen rantai pasok. Sistem persediaan juga menjadi perhatian serius dalam manajemen rantai pasok minyak sawit kasar (*crude palm oil*). Persediaan selain bermanfaat untuk menjaga tingkat pelayanan juga memberikan konsekuensi terhadap biaya produksi. Masalah persediaan akan menjadi kompleks apabila dihadapkan pada kondisi ketidakpastian. Ketidakpastian akan memicu risiko sehingga membutuhkan sebuah pendekatan yang tepat untuk penanganannya. Salah satu cara penyelesaian masalah yang mengandung ketidakpastian adalah penerapan *fuzzy number*.

Perhatian terhadap manajemen rantai pasok minyak sawit kasar merupakan topik yang masih baru. Pertumbuhan dan perkembangan agroindustri minyak sawit kasar di Indonesia sepatutnya diiringi dengan peningkatan daya saing. Para praktisi minyak sawit kasar sangat membutuhkan hasil studi yang bisa dimanfaatkan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas dari sistem rantai pasoknya. Salah satu hasil studi dibidang rantai pasok minyak sawit kasar antara lain Hadiguna dan Machfud (2008) dan Djohar *et al*. (2003). Permasalahan yang tidak kalah penting adalah penanganan persediaan di tangki timbun pelabuhan.

Fungsi tangki timbun di pelabuhan adalah gudang penyimpanan produk. Kegiatan pengapalan minyak sawit kasar sangat bergantung pada ketersediaan produk di tangki timbun pelabuhan. Salah faktor yang diperhatikan dalam pengendalian persediaan di pelabuhan adalah menjaga mutu minyak sawit kasar sehingga saat pengapalan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh pelanggan dapat terpenuhi. Menurut Pahan (2006) kerusakan minyak sawit kasar bisa terjadi selama pengiriman dari pabrik ke pelabuhan. Konsekuensi yang harus ditanggung pihak manajemen tangki timbun pelabuhan apabila mendapatkan kiriman minyak sawit kasar dari pabrik yang tidak memenuhi spesifikasi adalah biaya produk kurang bermutu. Kondisi ini perlu diperhatikan dalam manajemen persediaan tangki timbun pelabuhan dalam penentuan ukuran pasokan ekonomis. Asumsi yang digunakan dalam biaya produk kurang bermutu adalah linear terhadap jumlah pasokan yang diterima pelabuhan. Produk kurang bermutu juga diasumsi tetap dikapalkan tetapi dengan konsekuensi adanya pinalti harga penjualan yang menjadi lebih murah. Faktor biaya produk kurang bermutu akan dipertimbangkan dalam penerapan model EPQ melalui modifikasi secara matematik.

Manajemen rantai pasok agroindustri minyak sawit kasar tidak terlepas dari permasalahan persediaan. Masalah persediaan produk pertanian dan agroindustri belum banyak diperhatikan dalam perspektif model persediaan *fuzzy*. Nahmiah (1982) telah membahas secara mendalam teori dasar persediaan produk mudah rusak. Tinjauan terhadap teori persediaan dalam artikel ini hanya membahas fungsi penurunan mutu umur hidup tetap dan penurunan secara eksponensial. Tinjauan ini memperkenalkan teori dasar untuk kebijakan pemesanan baik untuk karakteristik permintaan stokastik pada produk tunggal maupun majemuk. Martin (1986) mengembangkan model keputusan persediaan produk mudah rusak untuk kondisi umur hidup tetap dengan permintaan stokastik dan produk tunggal. Model kebijakan persediaan produk mudah rusak lain yang telah dikembangkan antara lain oleh Chiu (1995) dan Ghos dan Chaudhuri (2005).

Semakin meningkatnya kompleksitas permasalahan persediaan maka beberapa peneliti memberikan perhatian khusus terhadap pemanfaatan teori *fuzzy*. Lee dan Yao (1999) mengembangkan model *economic order quantity* (EOQ) tanpa mempertimbangkan *back ordering* dengan jumlah kuantitas pemesanan sebagai *fuzzy number* segitiga. Xiaobin *et al*. (2007) juga mengembangkan model EOQ tanpa mempertimbangkan pemesanan ulang tetapi menggunakan biaya simpan dan biaya pemesanan dengan bentuk *fuzzy number* segitiga dan trapesium. Yao dan Chiang (2003) mengembangkan EOQ *fuzzy* tanpa pesan ulang dengan total biaya persediaan dan biaya simpan bentuk *fuzzy number* segitiga dengan membandingkan hasil defuzzifikasi *centroid* dan *signed distance*. Chiang *et al*. (2005) mengembangkan model EOQ *fuzzy* mempertimbangkan pesan ulang dengan seluruh parameter bentuk *fuzzy number* segitiga menggunakan defuzzifikasi *signed distance*. Syed dan Aziz (2007) mengembangkan model EOQ *fuzzy* tanpa kekurangan dengan biaya pesan dan biaya simpan bentuk *fuzzy number* segitiga menggunakan defuzzifikasi *signed distance*. Chen *et al*. (2007) mengembangkan model *economic production quantity* (EPQ) dengan memperhatikan penurunan harga jual akibat produk yang bermutu kurang baik (*imperfect*). Model ini menggunakan *fuzzy number* trapesium untuk biaya simpan, biaya persiapan, laju permintaan dan jumlah persediaan. Penyelesaian model menggunakan optimasi kondisi Kuhn-Tucker. Geetharamani *et al*. (2007) mengembangkan model persediaan *fuzzy* eselon jamak yang diselesaikan menggunakan syarat Kuhn-Tucker. Yao dan Su (2008) mengembangkan model persediaan dengan permintaan dan persediaan maksimum yang didefuzzifikasi menggunakan *signed distance*. Björk (2008) mengembangkan model EPQ dengan waktu siklus berbentuk *fuzzy number* segitiga untuk rantai pasok industri kertas. Penyelesaian model secara analitik dengan metode defuzzifikasi *signed distance*.

Model-model dasar persediaan terbukti cukup efektif dalam penerapannya diberbagai bidang dan termasuk pada manajemen persediaan di tangki timbun minyak sawit kasar. Makalah ini bertujuan mengendalikan persediaan minyak sawit kasar dengan memperhatikan kondisi ketidakpastian menggunakan teori *fuzzy*. Penerapan dilakukan sebagai sebuah studi kasus dengan terlebih dahulu melakukan formulasi ulang dari model dasar acuan. Model dasar persediaan yang diterapkan adalah *economic production quantity* (EPQ) dengan kondisi tidak mempertimbangkan adanya biaya kekurangan (*shortage*). Cakupan model adalah manajemen tangki timbun di pelabuhan dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran pasokan ekonomis sehingga menjaga persediaan pada tingkat biaya persediaan yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pendekatan Teori *Fuzzi* dan Defuzzifikasi

Sebuah himpunan *fuzzy* $\tilde{a}$ pada $R = (-\infty, \infty)$ disebut titik *fuzzy* jika fungsi keanggotaannya adalah

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 1, & x = a \\ 0, & x \neq a \end{cases} \quad (1)$$

Titik a adalah penunjang. Bila anggota dari semua *fuzzy point* (F_p) adalah $F_p = \{\tilde{a} \mid \forall a \in R\}$. Titik a adalah bilangan real atau $a \in R$ dan titik *fuzzy* $\tilde{a}$ adalah anggota dari titik *fuzzy* atau $\tilde{a} \in F_p$ didefinisikan sebagai pemetaan satu-satu. Sebuah himpunan *fuzzy* $[a_\alpha, b_\alpha]$ pada R, $0 \leq \alpha \leq 1$, $a < b$, disebut interval *fuzzy* level α jika fungsi keanggotaannya adalah

$$\mu_{[a_\alpha, b_\alpha]}(x) = \begin{cases} \alpha, & a \leq x \leq b, \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2)$$

Operasi-operasi dalam himpunan *fuzzy* sangat diperlukan dalam optimisasi sehingga tidak melanggar kaidah yang telah berlaku. Beberapa operasi matematis dasar dalam himpunan *fuzzy* untuk setiap $a, b, c, d, k \in R$ dan $a, c > 0$ sebagai berikut (Terano *et al.*, 1992; Björk, 2008):

$$[a,b] \oplus [c,d] = [a+c, b+d] \quad (3)$$

$$[a,b](-)[c,d] = [a-d, b-c] \quad (4)$$

$$k(\bullet)[c,d] = \begin{cases} [kc, kd] & k > 0 \\ [kd, kc] & k < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$[a,b](\bullet)[c,d] = [a \bullet c, b \bullet d] \quad (6)$$

$$[a,b](\div)[c,d] = \left[\frac{a}{d}, \frac{b}{c}\right] \quad (7)$$

Pemodelan menggunakan representasi *fuzzy number* segitiga (*triangular*). Landasan matematis *fuzzy* yang akan dijelaskan berfokus pada kedua jenis *fuzzy number* tersebut. Penjelasan *fuzzy number* segitiga akan merujuk pada Yao dan Chiang (2003). Sebuah himpunan *fuzzy* $\tilde{A} = (a,b,c)$ pada R dimana $a < b < c$ disebut *fuzzy number* segitiga jika fungsi keanggotaannya adalah:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le x \le c \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \tag{8}$$

Apabila $a = b = c$ maka titik *fuzzy* $(c, c, c) = \tilde{c}$. Bagian-bagian dari *fuzzy number* (F_N) segitiga pada R dinotasikan:

$$F_N = \{(a,b,c) \mid \forall a < b < c, a,b,c \in R\} \tag{9}$$

α-*cut* dari $\tilde{A} = (a,b,c) \in F_N$, $0 \le \alpha \le 1$ adalah $A(\alpha) = [A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$. $A_L(\alpha)$ dan $A_R(\alpha)$ adalah titik ujung kiri dan kanan dari $A(\alpha)$. Dari persamaan (8) diperoleh $A_L(\alpha) = a + (b-a)\alpha$ dan $A_R(\alpha) = c - (c-b)\alpha$.

$$\tilde{A} = \bigcup_{0 \le \alpha \le 1} \alpha A(\alpha) = \bigcup_{0 \le \alpha \le 1} \alpha [A_L(\alpha), A_R(\alpha)] \tag{10}$$

atau

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \vee_{0 \le \alpha \le 1} \alpha C_{A(\alpha)}(x) = \vee_{0 \le \alpha \le 1} \mu [A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha](x) \tag{11}$$

dimana $C_{A(\alpha)}$ adalah fungsi karakteristik dari $A(\alpha)$ dan α adalah himpunan *fuzzy* yang fungsi keanggotaannya adalah:

$$\mu_{\alpha A(\alpha)}(x) = \begin{cases} \alpha, & x \in A(\alpha) \\ 0, & x \notin A(\alpha) \end{cases} \text{ untuk setiap } \alpha \in [0,1] \tag{12}$$

Berdasarkan persamaan di atas akan diperoleh $\alpha C_{A(\alpha)}(x) = \alpha = \mu_{[A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha]}(x)$ bila $x \in A(\alpha)$ dan $\alpha C_{A(\alpha)}(x) = 0 = \mu_{[A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha]}(x)$ maka $x \notin A(\alpha)$.

Pemodelan ini menggunakan metode defuzzifikasi *signed distance*. Metode *signed distance* merujuk pada penjelasan Yao dan Chiang (2003) untuk *fuzzy number* segitiga. Setiap $a \in R$ pada metode *signed distance* didefinisikan $d_0(a,0) = a$. Jika $a > 0$, jarak dari a ke *0* adalah $d_0(a,0) = a$. Jika $a < 0$, jarak dari a ke *0* adalah $-d_0(a,0) = -a$. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa $d_0(a,0)$ diberi istilah *signed distance* dari a ke *0*. Jika $\tilde{A} = (a,b,c) \in F_N$, *α-cut* $0 \le \alpha \le 1$ dari $\tilde{A}$ adalah $A(\alpha) = [A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$. *Signed distance* dari $A_L(\alpha)$ dan $A_R(\alpha)$ ke *0* masing-masing adalah $d_0(A_L(\alpha),0) = A_L(\alpha)$ dan $d_0(A_R(\alpha),0) = A_R(\alpha)$. Definisi *signed distance* dari *0* ke interval $[A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d_0([A_L(\alpha), A_R(\alpha)],0) &= \frac{1}{2}[d_0(A_L(\alpha),0) + d_0(A_R(\alpha),0)] \\ &= \frac{1}{2}[A_L(\alpha) + A_R(\alpha)] \\ &= \frac{1}{2}[a + c + (2b - a - c)\alpha] \end{aligned} \tag{13}$$

Apabila interval *crisp* (tegas) $[A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ adalah korespondensi satu-satu dengan interval *fuzzy* $[A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ level α, secara umum didefinisikan *signed distance* dari level α pada interval *fuzzy* $[A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ ke $\tilde{0}$ (aksis *y*) adalah:

$$d([A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha], 0) = d_0([A_L(\alpha), A_R(\alpha)], 0)$$
$$= \frac{1}{2}[a + c + (2b - a - c)\alpha] \tag{14}$$

Hal ini adalah fungsi kontinu dari α pada $0 \le \alpha \le 1$. Nilai rata-rata diperoleh dari integrasi. Bila $\tilde{A} = \bigcup_{0 \le \alpha \le 1} [A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha]$ akan diperoleh definisi jika $\tilde{A} = (a, b, c) \in F_N$ *signed distance* dari $\tilde{A}$ ke $\tilde{0}$ adalah (Yao dan Chiang 2003, Yao dan Su 2008):

$$d(\tilde{A}, \tilde{0}) = \int_0^1 d([A_L(\alpha)_\alpha, A_R(\alpha)_\alpha], \tilde{0})\, d\alpha$$
$$= \frac{1}{4}(2b + a + c) \tag{15}$$

2.2 Pemodelan *Economic Production Quantity*

Alasan utama untuk memiliki persediaan bagi setiap perusahaan adalah sanggup untuk membeli atau memproduksi produk dalam ukuran lot yang ekonomis. Model persediaan yang paling awal adalah EOQ (*Economic Order Quantity*) atau dikenal dengan model Wilson. Dalam model tersebut ada beberapa asumsi yang digunakan untuk menggambarkan fenomena nyata yang terjadi. Menurut Smith (1989) asumsi tersebut adalah permintaan produk selama periode perencanaan diketahui dengan pasti dan datang secara kontinu sepanjang waktu dengan kecepatan yang konstan, ukuran lot pemesanan tetap untuk setiap kali pemesanan, produk yang dipesan akan datang secara serentak pada saat pemesanan dilakukan (*lead time*: 0), harga produk yang dipesan tidak bergantung pada jumlah produk yang dipesan atau dibeli dan waktu dan biaya pesan tetap untuk setiap kali pemesanan, biaya simpan sebanding dengan jumlah produk yang disimpan dan harga produk per unit serta lama waktu penyimpanan, tidak ada keterbatasan, baik yang berkaitan dengan kemampuan finansial, kapasitas gudang, dan lainnya.

Model EPQ berdasarkan asumsi laju produksi yang terbatas dan konstan sepanjang periode sebesar *p*. Kondisi ini memberikan tingkat persediaan tidak akan pernah sama dengan ukuran lot produksi karena adanya produksi dan permintaan yang terjadi secara bersamaan. Keputusan untuk pengendalian persediaan yang diambil meliputi penentuan ukuran produksi. Formulasi model didasarkan pada model EPQ yang diformulasikan sebagai berikut (Smith, 1989):

$$TC(q) = cd + \frac{kd}{q} + \frac{hq}{2}\left(1 - \frac{d}{p}\right) \tag{16}$$

$$q^* = \sqrt{\frac{2kd}{h\left(1 - \frac{d}{p}\right)}} \tag{17}$$

Persamaan (16) adalah total biaya persediaan yang merupakan fungsi dari ukuran pasokan produk (*q*), sedangkan persamaan (17) adalah nilai ukuran pasokan optimal pada tingkat biaya persediaan yang minimum. Permintaan (*d*) minyak sawit kasar dari pelabuhan merupakan upaya memenuhi rencana penjualan atau pengapalan. Laju pasokan (*p*) merupakan kemampuan pasokan minyak sawit kasar dari pabrik ke tangki timbun pelabuhan. Diasumsi $p > d$ sesuai dengan konsep dasar EPQ. Biaya pemesanan (*k*) berhubungan dengan persiapan-persiapan pasokan dari pabrik ke pelabuhan. Biaya penyimpanan produk di tangki timbun (*h*) adalah biaya yang timbul dari penyimpanan setiap ton minyak sawit kasar di pelabuhan. Biaya yang terlibat adalah biaya simpan dan biaya pemesanan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data dan Informasi

Studi ini difokuskan pada pengembangan model berdasarkan kondisi nyata. Model yang dihasilkan diterapkan pada sebuah studi kasus. Formulasi model yang menjadi acuan adalah *Economic Production Quantity* (EPQ). Formulasi matematik pada pengendalian persediaan akan menggunakan teknik *fuzzy* untuk mengakomodir kondisi permintaan yakni rendah, normal dan tinggi. Unsur *fuzzy* direpresentasikan dengan fungsi keanggotaan segitiga (*triangular*). Teknik defuzzifikasi yang digunakan adalah *signed distance*.

Teknik pengumpulan data didasarkan dari diskusi tentang rantai pasok dengan manajer terkait. Data yang akan dikumpulkan sistem pengelolaan tangki timbun pelabuhan. Selanjutnya, informasi dikumpulkan berdasarkan pendapat para manajer. Data adalah fakta yang diketahui dan dicatat berguna untuk inferensi atau perhitungan, sedangkan informasi adalah pengetahuan yang dimiliki seseorang berdasarkan pengalaman dan pendidikannya. Data diperoleh dari laporan yang dimiliki perusahaan, sedangkan informasi diperoleh dari pengetahuan manajer. Informasi dikumpulkan dengan cara memberikan beberapa pertanyaan yang dibutuhkan untuk mendukung pengembangan model.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Formulasi Matematik

Risiko penurunan mutu perlu dipertimbangkan sebagai biaya kerugian mutu akibat kadar asam lemak bebas (ALB) tidak sesuai dengan perjanjian, kontrak atau keinginan pembeli. Biaya mutu ditentukan oleh biaya kerugian mutu per ton dan jumlah minyak sawit kasar yang bermutu kurang baik. Risiko mutu dipicu oleh ketidakpastian selama pengangkutan maupun pengelolaan di tangki timbun pelabuhan. Ketidakpastian ini menimbulkan jumlah produk yang kurang bermutu baik tidak menentu. Hal ini akan ditetapkan dalam bentuk *fuzzy number* segitiga. Persentase produk yang kurang bermutu baik disimbolkan dengan *v* sedangkan biaya kerugian disimbolkan dengan δ. Faktor biaya mutu kurang baik ini akan ditambahkan pada model dasar EPQ yang akan di formulasi ulang. Merujuk pada persamaan (16) maka formulasi total biaya persediaan dalam bentuk *fuzzy* sebagai berikut:

$$TC(q_p) = (c \bullet \tilde{d}) \oplus \left(\frac{k \bullet \tilde{d}}{q} \right) \oplus \left\{ \frac{hq}{2} \left(1 - \frac{\tilde{d}}{p} \right) \right\} \oplus (\delta \bullet \tilde{v} \bullet q) \tag{18}$$

$TC(q_p)$ adalah *fuzzy number* segitiga sebagai konsekuensi dari bentuk *fuzzy* $\tilde{d}$ dan $\tilde{v}$ dengan nilai *fuzzy* dari $\tilde{d}$ dan $\tilde{v}$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tilde{d} = (d - \Delta_1, d, d + \Delta_2) \tag{19}$$

$$\tilde{v} = (v - \Delta_3, v, v + \Delta_4) \tag{20}$$

Pada kondisi tegas atau tanpa simbol ~ pada d dan v maka persamaan (18) adalah total biaya persediaan bentuk tegas. Apabila seluruh produk yang dipasok ke pelabuhan bermutu baik, maka $v = 0$ dan memberikan konsekuensi tidak ada biaya produk kurang bermutu atau $\delta = 0$. Jika kondisi ini terjadi maka persamaan (18) akan menjadi bentuk dasar formulasi EPQ.

Persamaan (18) adalah total biaya bentuk *fuzzy* dimana $TC(q_q)$ dibentuk dari $H_q(\tilde{d},\tilde{v})$ dapat dituliskan $H_q(\tilde{d},\tilde{v}) = (H_1, H_2, H_3)$ sesuai dengan bentuk *fuzzy number* segitiga dimana nilai $H_2 > H_1$ dan $H_3 > H_2$. Nilai H_1, H_2, dan H_3 dapat diformulasikan:

$$H_1 = c(d-\Delta_1) + \left\{\frac{k(d-\Delta_1)}{q}\right\} + \left[\frac{hq}{2}\left\{1-\frac{(d-\Delta_1)}{p}\right\}\right] + \{\delta q(v-\Delta_3)\}$$

$$= cd + \frac{kd}{q} + \frac{hq}{2}\left(1-\frac{d}{p}\right) + \delta vq - c\Delta_1 - \frac{k\Delta_1}{q} + \frac{h\Delta_1 q}{2p} - \delta\Delta_3 q$$

$$H_1 = TC(q) - c\Delta_1 - \frac{k\Delta_1}{q} + \frac{h\Delta_1 q}{2p} - \delta\Delta_3 q \qquad (21)$$

$$H_2 = cd + \frac{kd}{q} + \frac{hq}{2}\left(1-\frac{d}{p}\right) + \delta vq \qquad (22)$$

$$H_2 = c(d+\Delta_2) + \left\{\frac{k(d+\Delta_2)}{q}\right\} + \left[\frac{hq}{2}\left\{1-\frac{(d+\Delta_2)}{p}\right\}\right] + \{\delta q(v+\Delta_4)\}$$

$$= cd + \frac{kd}{q} + \frac{hq}{2}\left(1-\frac{d}{p}\right) + \delta qv + c\Delta_2 + \frac{k\Delta_2}{q} - \frac{hq\Delta_2}{2p} + \delta q\Delta_4$$

$$H_3 = TC(q) + c\Delta_2 + \frac{k\Delta_2}{q} - \frac{hq\Delta_2}{2p} + \delta q\Delta_4 \qquad (23)$$

H_1, H_2 dan H_3 merupakan nilai-nilai dari bentuk *fuzzy number* segitiga dari $H_q(\tilde{d},\tilde{v})$ yang dijabarkan sesuai dengan proses defuzzifikasi *signed distance* (Yao dan Chiang 2003, Yao dan Su 2008). Hasil dari defuzzifikasi sebagai berikut:

$$d\left(H_q(\tilde{d},\tilde{v}),0\right) = \frac{1}{4}(2H_2 + H_1 + H_3)$$

$$= TC(q) + \frac{1}{4}\left[c(\Delta_2-\Delta_1) + \frac{hq(\Delta_1-\Delta_2)}{2p} + \frac{k(\Delta_2-\Delta_1)}{q} + \delta q(\Delta_4-\Delta_3)\right] \qquad (24)$$

Nilai q^* optimal akan diperoleh dengan mendapatkan turunan pertama dari persamaan (24) dan disamakan dengan nol.

$$\frac{dTC(q)}{dq} = -\frac{kd}{q^2} + \frac{h}{2}\left(1-\frac{d}{p}\right) + \delta v + \frac{h(\Delta_1-\Delta_2)}{8p} + \frac{k(\Delta_2-\Delta_1)}{4q^2} + \delta(\Delta_4-\Delta_3)$$

$$q^* = \sqrt{\frac{k[4d-(\Delta_2-\Delta_1)]}{2h\left(1-\frac{d}{p}\right) + \frac{h(\Delta_1-\Delta_2)}{2p} + \delta[v+(\Delta_4-\Delta_3)]}} \qquad (25)$$

Untuk memeriksa kondisi optimal q^* dapat dilakukan melalui turunan kedua.

$$\frac{d^2TC(q)}{dq^2} = \frac{2kd}{q^3} - \frac{k(\Delta_2 - \Delta_1)}{2q^3}$$

$$= \frac{k[4d - (\Delta_2 - \Delta_1)]}{2q^3} \tag{26}$$

Diketahui bahwa $p > d$, $0 < \Delta_1 < d$, $\Delta_2 > 0$ maka beberapa kondisi akan terpenuhi sebagai berikut:

$$4d + \Delta_2 - \Delta_1 = 3d + \Delta_2 + (d - \Delta_1) > 0 \tag{27}$$

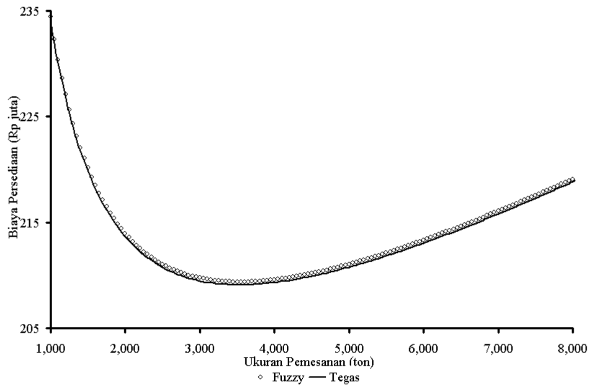
Penjelasan diatas menunjukkan bahwa $\frac{d^2TC(q)}{dq^2} > 0$ atau bernilai positif sesuai persamaan (27). Jika $\Delta_1 = \Delta_2 = 0$, $\Delta_3 = \Delta_4 = 0$ dan $\delta = 0$ pada kondisi mutu sempurna maka persamaan (25) akan kembali menjadi bentuk tegas sesuai dengan persamaan (17).

3.2 Pembahasan

Penentuan ukuran pemesanan atau pasokan optimal ke pelabuhan dapat dihitung menggunakan persamaan (25) dan total biaya persediaan menggunakan persamaan (24). Diperoleh data untuk k = 14466684, c = 54000, p = 24000, h = 9070, v = 2,5%, δ = 484000, Δ_1 = 10, Δ_2 = 30, Δ_3 = 0,1%, Δ_4 = 0,5% dan d = 3362. Ukuran pemesanan optimal diperoleh sebesar 2560 ton dengan total biaya persediaan sebesar Rp 212.063.620.

Perbandingan juga bisa dilakukan untuk mengetahui besar selisih total biaya persediaan dan ukuran pasokan bila menerapkan model EPQ tegas. Hasil perhitungannya adalah ukuran pemesanan sebesar 3532 ton dan total biaya persediaan sebesar Rp 210.528.531. Secara grafik, perbandingan setiap jumlah pemesanan untuk model EPQ-*fuzzy* dan model EPQ-tegas dapat dilihat pada Gambar 1.

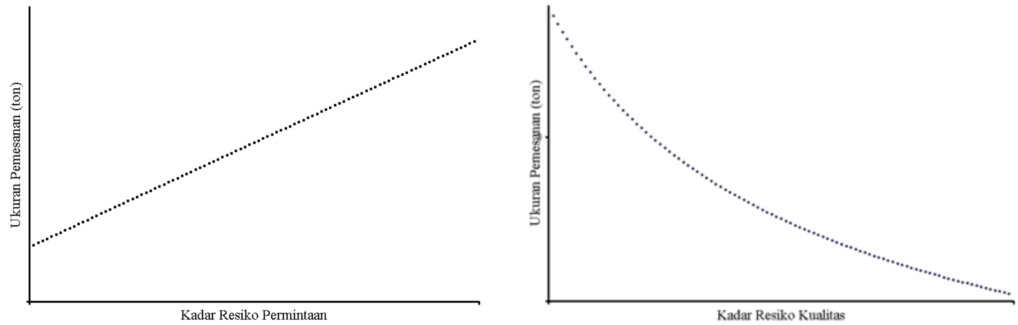
Ukuran pemesanan dan total biaya persediaan EPQ *fuzzy* lebih besar dibandingkan dengan EPQ tegas. Hal ini terjadi disebabkan faktor risiko dan biaya mutu. Nilai *q–fuzzy* optimal menjadi besar karena mempertimbangkan fluktuasi permintaan dan risiko mutu yang mungkin terjadi. Ukuran pemesanan *q–fuzzy* optimal lebih kecil sebagai konsekuensi mengurangi risiko mutu sebab kenaikan biaya risiko mutu meningkat seiring dengan ukuran pemesanan.



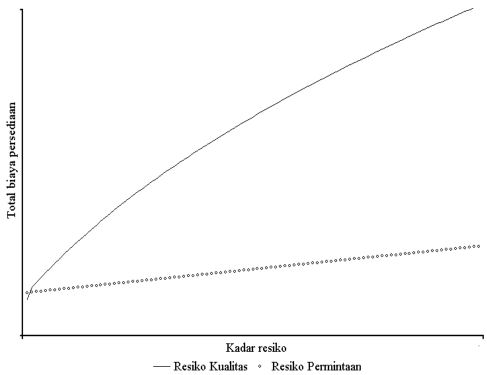
Gambar 1. Grafik perbandingan EPQ-*fuzzy* dan EPQ tegas

EPQ-*fuzzy* memasukkan parameter Δ_1, Δ_2, Δ_3, dan Δ_4 yang bersumber dari pengalaman dan pengetahuan pengambil keputusan. Besar nilai parameter tersebut akan mempengaruhi ukuran pemesanan. Pengamatan dilakukan terhadap dua kondisi, pertama adalah risiko fluktuasi permintaan meningkat dan risiko mutu tetap, kedua adalah risiko permintaan tetap dan risiko mutu meningkat. Gambar 2 adalah grafik yang menunjukkan perubahan ukuran pemesanan berdasarkan kenaikan kadar risiko. Ukuran pemesanan meningkat seiring dengan kenaikan kadar risiko permintaan. Peningkatan nilai Δ_1 dan Δ_2 dimana $\Delta_1 < \Delta_2$ akan meningkatkan ukuran pemesanan secara linear. Sebaliknya peningkatan nilai Δ_3 dan Δ_4 dimana $\Delta_3 < \Delta_4$ akan menurunkan ukuran pemesanan secara eksponensial.

Kontribusi kadar risiko mutu terhadap kenaikan total biaya persediaan jauh lebih besar dibandingkan dengan kadar risiko permintaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 yang menggambarkan grafik kenaikan total biaya dari dua kadar risiko. Kenaikan biaya persediaan yang diakibatkan oleh peningkatan risiko mutu menunjukkan bahwa penanganan minyak sawit kasar mulai dari pemuatan, transportasi dari pabrik ke pelabuhan dan pembongkaran di tangki timbun perlu dilakukan dengan baik. Kondisi fasilitas tangki timbun dan lama perjalanan menjadi salah satu faktor penting pemicu kerusakan produk minyak sawit (Pahan 2006). Model yang dibahas dalam makalah ini hanya menitikberatkan pada penanganan konsekuensi apabila terdapat sejumlah produk yang tidak memenuhi spesifikasi sehingga menimbulkan biaya mutu. Selayaknya risiko mutu harus ditangani sepanjang lini rantai pasok.



Gambar 2. Pengaruh kenaikan kadar risiko untuk mutu dan permintaan



Gambar 3. Perbandingan total biaya persediaan

4. KESIMPULAN

Penambahan faktor risiko mutu pada model EPQ telah berhasil diterapkan dalam pengendalian persediaan minyak sawit kasar di tangki timbun pelabuhan. Peningkatan kadar risiko permintaan akan meningkatkan ukuran pemesanan dan peningkatan kadar risiko mutu akan menurunkan ukuran pemesanan. Hasil penerapan EPQ-*fuzzy* dengan mempertimbangkan faktor risiko mutu sangat membantu perusahaan dalam penentuan ukuran pemesanan yang optimal. Penerapan *fuzzy number* juga sangat efektif dalam mengakomodir faktor risiko permintaan dan mutu.

Risiko mutu memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap total biaya persediaan dibandingkan risiko permintaan. Perhatian terhadap risiko mutu menjadi faktor penting dan harus dikendalikan dengan baik. Sumber-sumber risiko mutu dalam rantai pasok minyak sawit kasar perlu diperhatikan dalam kajian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada *reviewer* yang telah memberikan saran-saran yang sangat bermanfaat dan kepada Dr. Machfud, Prof. Dr. Eriyatno, Dr. Ani Suryani, Dr. Yandra yang telah memberikan pengetahuan baru dibidang teknik sistem industri minyak sawit kasar.

DAFTAR PUSTAKA

Björk, K.M., 2008. "The Economic Production Quantity Problems with a Finite Production Rate and Fuzzy Cycle Time." *Proceeding of the 41st Hawaii International Conference on System Science*, pp. 1-9.

Chiu, H.N., 1995. "A Heuristic (R,T) Periodic Review Perishable Inventory Model with Lead Times." *International Journal of Production Economics*, Vol. 42, pp. 1–15.

Chen, S.H., Wang, C.C., and Chang, S.M., 2007. "Fuzzy Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality." *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 3, No. 1, pp. 85-95.

Chiang, J., Yao, J.S., and Lee, H.M., 2005. "Fuzzy Inventory with Backorder Defuzzification by Signed Distance Method." *Journal of Information Science and Engineering*, Vol. 21, pp. 673-694.

Djohar, S., Tanjung, H., and Cahyadi, E.R., 2003. "Building a Competitive Advantage on CPO Through Supply Chain Management: A Case Study in PT. Eka Dura Indonesia, Astra Agrolestasi, Riau." *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, Vol. 1, pp. 20-32.

Geetharamani, G., Thangavel, K., and Elango, C., 2007. "Fuzzy Multi-Echelon Inventory System." *Research Journal of Applied Sciences*, Vol. 2, No. 5, pp. 568-573.

Gosh, S.K., and Chaudhuri, K.S., 2005. "An EOQ Model for a Deteriorating Item with Trended Demand, and Variable Backlogging with Shortages in All Cycles." *Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 7, No. 1, pp. 57-68.

Hadiguna, R.A., Machfud, 2008. "Model Perencanaan Produksi pada Rantai Pasok *Crude Palm Oil* dengan Mempertimbangkan Preferensi Pengambil Keputusan." *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 10, No. 1, pp. 38-49.

Lee, H.M., and Yao, J.S., 1999. "Economic Order Quantity in Fuzzy Sense for Inventory without Backorder Model." *Fuzzy Sets and Systems,* Vol. 105, pp. 13-31.

Martin, G.E., 1986. "An Optimal Decision Model for Disposal of Perishable Inventory." *International Journal of Production Research*, Vol. 24, pp. 73–80.

Nahmiah, S., 1982. "Perishable Inventory Theory: A Review." *Operations Research,* Vol. 30, pp. 680-708.

Pahan, I., 2006. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*, Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta.

Syed, J.K., and Aziz, L.A., 2007. "Fuzzy Inventory Model without Shortages using Signed Distance Method." *Applied Mathematics & Information Sciences: An International Journal*, Vol. 1, No. 2, pp. 203-209.

Smith, S.B., 1989. *Computer-Based Production and Inventory Control*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Terano, T., Asai, K., and Sugeno, M., 1992. *Fuzzy Systems Theory and Its Applications*, Academic Press Inc., San Diego.

Yao, J.S., and Chiang, J., 2003. "Inventory Without Backorder with Fuzzy Total Cost and Fuzzy Storing Cost Defuzzied by Centroid and Signed Distance." *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, pp. 401-409.

Yao, J.S., and Su, J.S., 2008. " Fuzzy Total Demand and Maximum Inventory with Backorder Based on Signed Distance Method." *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 4, No. 9, pp. 2249-2261.

Xiaobin, W., Wansheng, T., and Ruiqing, Z., 2007. "Fuzzy Economic Order Quantity Inventory Models without Backordering." *Tsinghua Science and Technology Journal*, Vol. 12, No. 1, pp. 91-96.