

Analisis Persediaan pada Suatu Sistem *Single-Stage* dengan Tambahannya Kriteria Emisi Carbon

Petrus Setya Murdapa

PSDKU Rekayasa Industri, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Jl Manggis 15-17, Kota Madiun, 63131, Indonesia
Email: petrus.setya@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Persediaan akan selalu penting dalam menjamin arus barang di industri. Terdapat suatu konfigurasi keputusan yang optimum dalam persoalan persediaan tersebut. Untuk analisis dan optimisasi keputusan umumnya digunakan kriteria biaya total persediaan per satuan waktu. Konfigurasi keputusan-keputusan yang ada disusun dan dipilih sedemikian sehingga biaya tersebut serendah-rendahnya. Biaya yang dimaksud utamanya akan mencakup *setup*, *holding*, dan *shortage*. Ini akan terus relevan hingga era sekarang ataupun yang akan datang. Namun demikian, biaya emisi penting pula untuk ditambahkan ke dalam kriteria mengingat faktor ini sudah menjadi isu penting di dunia, baik di atas kertas maupun di kenyataannya. Dalam paper ini dibahas analisis persediaan untuk sistem persediaan *single stage* dengan melibatkan juga faktor emisi ke dalam kriteria pengambilan keputusan, untuk melengkapi biaya total persediaan. Suatu contoh numerik untuk memperlihatkan pengolahan data emisi dari sumber-sumber data yang tersedia ditampilkan dalam model yang disusun. Hasilnya menunjukkan adanya suatu koreksi konfigurasi keputusan dibandingkan jika hanya biaya total persediaan tradisional saja yang diperhatikan.

Kata kunci: model, persediaan, sistem tunggal, emisi carbon, numerik

1. Pendahuluan

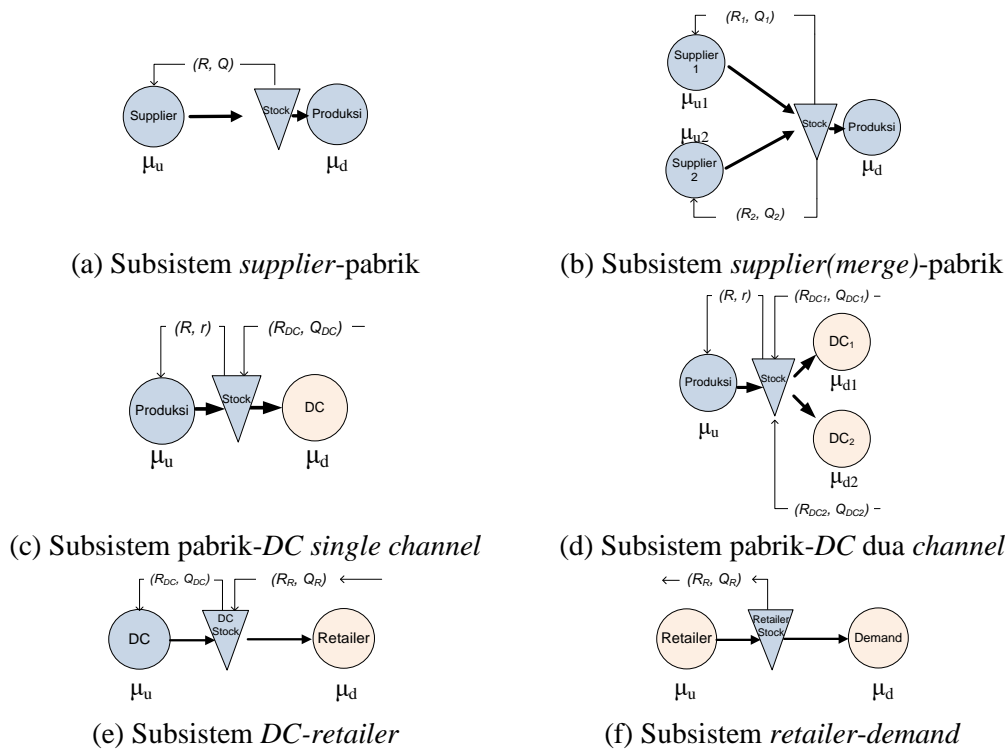
Persediaan pada jumlah tertentu sangatlah diperlukan untuk memastikan kelancaran kegiatan-kegiatan terkait proses produksi. Tingkat kepentingan persediaan dapat dibedakan ke beberapa kategori berdasarkan akibat yang akan ditimbulkan jika sampai terjadi kekosongan persediaan. Dalam literatur dasar teori persediaan (misalnya Russell and Taylor, 2010), pengkategorian yang umum dipakai ialah metode ABC. Dengan cara ini item dibedakan dalam kategori A, kategori B, dan kategori C. Persediaan untuk item dengan kategori A dipandang sangat penting keberadaannya. Tidak diperbolehkan terjadi *stock out* sehingga dalam pemodelan probabilitasnya diabaikan karena diasumsikan sama dengan nol. Pemodelannya menjadi sederhana karena tidak melibatkan probabilitas *stock out*. Implementasinya yang akan menjadi rumit karena akan banyak kegiatan yang harus dilakukan secara sinkron satu sama lain untuk memastikan *stock* itu selalu ada. Sedangkan pemodelan persediaan untuk item dengan kategori B dan C perlu melibatkan probabilitas dan biaya *stock out*.

Dalam konteks klasifikasi ABC tersebut, paper ini secara khusus mengkaji item yang dapat disebutkan masuk dalam kategori B atau C di mana ada kemungkinan untuk terjadi *stock out*. Pengkajian mengacu pada sistem persediaan dengan item tunggal. Sistem tersebut akan merupakan subsistem dari suatu sistem *supply chain* yang lebih luas. Dalam paper ini, sebagai subsistem, maka sistem persediaan tersebut merupakan sistem *single stage*. Kasus persediaan pada (sub)sistem *single stage* banyak terjadi. Misalnya di sistem *supply chain*. Jika dekomposisi dikenakan (lihat Altiok, 1998, Gershwin, 1994), akan ada berbagai varian subsistem *single stage* seperti dapat dilihat pada Gambar 2 (Murdapa, 2019). Dalam hal ini persoalan diasumsikan hanya mengelola satu jenis item.

Sistem *single stage* tersebut akan memesan item persediaan ke pemasok sejumlah tertentu, menyimpannya untuk disalurkan secara eceran ke pembeli. Gambar 3 berikut menjelaskan gambaran sistem yang dimaksudkan beserta notasi-notasi dari besaran-besaran yang terkait. Sistem menerima *demand* yang bersifat probabilistik dengan rata-rata D unit per satuan waktu. Untuk itu sistem harus menyediakan persediaannya, mengelolanya dengan baik demi kepuasan

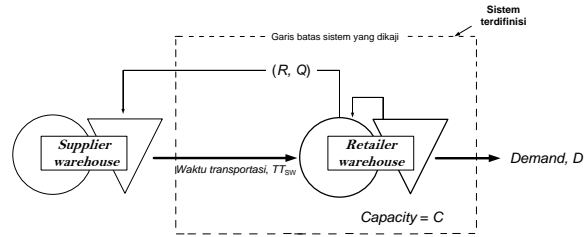
konsumen sebaik-baiknya sambil memperhatikan besarnya biaya total persediaan yang terjadi. Desakan untuk mengoperasikan kegiatan keindustriian yang *green* (Singgih, 2012) menuntut industriawan untuk terus merefleksikan dampak industrinya terhadap lingkungan industri (Ciptomulyono, 2012). Salah satunya ialah dampak emisi carbon. Sangatlah penting untuk melibatkan kuantitas emisi carbon ke dalam rumusan kriteria pengambilan keputusan.

Dalam paper ini unsur-unsur biaya yang diperhatikan relevan ialah biaya pemesanan, biaya penyimpanan, biaya *stock out* (diasumsikan mengikuti mekanisme *backordering* dengan suatu *penalty cost* tertentu), dan biaya emisi carbon.



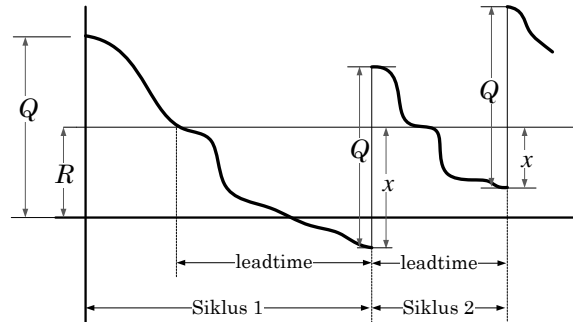
Gambar 1. Beberapa contoh kasus sistem persediaan *single stage*

Sistem *single stage* umumnya merupakan subsistem dari sistem *supply chain*. Gambar 1 menampilkan beberapa kemungkinannya jika mekanisme pengadaan persediaan mengikuti mekanisme (R, Q) di mana R ialah titik pemesanan kembali (*reorder point*) dan Q ialah kuantitas order (lihat Karaman and Altiok, 2009, Saetta et al, 2012 untuk *detail* pembahasannya dalam konteks sistem *supply chain*). Dalam paper ini akan dikaji sistem *single-stage* pada Gambar 1(f). Secara lebih jelas ditampilkan lagi di Gambar 2. Biaya *Stock out* terjadi jika *demand during leadtime*, x , lebih besar daripada R , dan biaya *holding* muncul jika terjadi sebaliknya. Biaya emisi muncul dari energi listrik untuk menjaga kondisi ruang penyimpanan, misalnya untuk kelembaban udara melalui pengaturan suhu ruangnya. Selain itu juga ada biaya emisi akibat pengangkutan pesanan dari lokasi pemasok sampai di tempat. Dalam hal ini biaya emisi pengangkutan itu masuk ke dalam tanggungan sistem sebagai pihak pembeli pesanan.



Gambar 2. Sistem yang dikaji: sistem persediaan *retailer*

Secara konseptual, jumlah *stock* persediaan setiap saat dapat digambarkan seperti Gambar 3 (lihat Taha, 2017). Demand datang dari konsumen bersifat probabilistik.



Gambar 3. Profil konseptual kuantitas stock dalam gudang persediaan (Sumber: Taha, 2017)

2. Metode

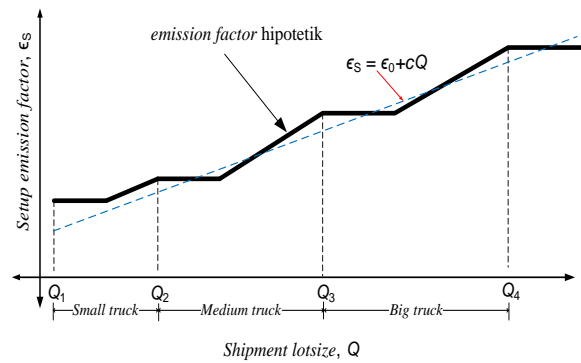
Analisis dilakukan dengan metode pemodelan. *Total cost* per unit waktu dapat dinyatakan sebagai jumlahan dari *setup cost*, *holding cost*, *shortage cost*, dan *emission cost* sebagai berikut (bandingkan dengan Taha, 2017):

$$TCU(Q,R) = \frac{(K + C_{\epsilon} \epsilon_S)D}{Q} + (C_H + C_{\epsilon} \epsilon_H) \left(\frac{Q}{2} + R + E\{x\} \right) + \frac{pD}{Q} \int_R^{\infty} (x - R) f(x) dx \quad (1)$$

Dalam persamaan (1) sudah ditambahkan komponen *emission cost* ke dalam *total cost* per unit waktu. *Emission cost* tersebut terdiri dari *setup emission cost* dan *holding emission cost* yang keduanya secara sederhana dihitung menggunakan *emission factor*.

Setup emission cost = biaya terkait emisi yang muncul pada proses *setup*/pemesanan
= Ongkos karbon, Rp/kg x jumlah carbon yang muncul, kg/pesanan
= $C_{\epsilon} \epsilon_S$

Holding emission cost = biaya terkait emisi yang muncul pada proses *holding*/penyimpanan
= Ongkos karbon, Rp/kg x jumlah carbon yang muncul, kg/unit/jam
= $C_{\epsilon} \epsilon_H$



Gambar 4. Profil hipotetik kenaikan emission factor transportasi terhadap lotsize (dapat dibandingkan dengan pendekatan linier pada Murdapa et al, 2019)

Besaran ϵ_S dan ϵ_H masing-masing disebut *setup emission factor* dan *holding emission factor*. Q dan R merupakan variabel keputusan. Untuk memilih kedua keputusan yang optimal digunakan penyamaan turunan pertamanya dengan nol. Namun sebelumnya perlu disadari bahwa besarnya *setup emission factor*, ϵ_0 , secara logis akan membesar dengan membesarnya *lotsize* pemesanan, Q , karena beban armada pengangkut akan membesar pula, pun demikian emisi yang ditimbulkan. Kapasitas armada bersifat diskrit, dan misalnya dibedakan menjadi tiga kelas: armada kecil, sedang dan besar. Profil kenaikan *emission factor* terhadap beban angkutan (*lotsize*) dalam setiap kelas armada dapat dihipotetiskan seperti pada Gambar 4.

Jika profil relasi antara ϵ_S dan Q dapat didekati berbentuk linier seperti terlihat pada Gambar 4 yang memiliki persamaan $\epsilon_S = \epsilon_0 + cQ$ maka persamaan (1) berubah menjadi:

$$TCU(Q, R) = \frac{(K + C_\epsilon(\epsilon_0 + cQ))D}{Q} + (C_H + C_\epsilon \epsilon_H) \left(\frac{Q}{2} + R + E\{x\} \right) + \frac{pD}{Q} \int_R^\infty (x - R)f(x)dx \quad (2)$$

Maka turunan pertama terhadap Q dan R :

$$\frac{\partial TCU(Q, R)}{\partial Q} = -\frac{(K + C_\epsilon \epsilon_0)D}{Q^2} + \frac{(C_H + C_\epsilon \epsilon_H)}{2} - \frac{pDS}{Q^2} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial TCU(Q, R)}{\partial R} = (C_H + C_\epsilon \epsilon_H) - \frac{pD}{Q} \int_R^\infty f(x)dx = 0 \quad (4)$$

Dibandingkan dengan kriteria tradisional (tanpa pertimbangan biaya emisi), terlihat bahwa pada persamaan (3) dan (4) terdapat penambahan biaya *setup* sebesar $C_\epsilon \epsilon_0$ dan biaya *holding* sebesar $C_\epsilon \epsilon_H$. Algoritma Hadley-Whitin seperti dijelaskan pada Taha (2017) dapat dipakai untuk perhitungan Q dan R secara numerik.

Identifikasi nilai *emission factor* dilakukan dengan terlebih dahulu memahami konteks penggunaannya melalui satuannya (Murdapa, 2019).

- *Setup emission factor*:

Setup emission factor yang relevan ialah ϵ_0 yang dalam hal ini merupakan kuantitas carbon yang muncul pada saat dilakukan pemesanan ke supplier pada *small truck* (Gambar 4).

Emisi tersebut akan disebabkan oleh aktivitas pengiriman/transportasi menggunakan armada kecil (*small truck*). Besaran faktor tersebut mempunyai satuan kg carbon/jam (tepatnya: kg CO₂/jam). Sementara itu, menurut KemenLH, setiap liter solar akan menghasilkan nilai kalor 36 x 10⁻⁶ TJ, dan per TJ kalor tersebut akan menghasilkan emisi *carbon* (mengabaikan jenis gas yang lain) kira-kira sebesar 74.100 kg CO₂. Kebutuhan bahan bakar diesel untuk armada pengiriman: 3 km/L (sumber: tribunnews.com, 20 Nopember 2013), maka perhitungannya dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\epsilon_o &= \left(74.100 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{TJ}}\right) \left(\frac{1\text{L}}{3\text{km}}\right) \left(\frac{36 \times 10^{-6}\text{TJ}}{\text{L}}\right) \\ &= 0,889 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}} \\ &= \left(0,889 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{km}}\right) \left(\frac{60\text{km}}{\text{jam}}\right) = 53,34 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{jam}}\end{aligned}$$

Diasumsikan bahan bakar yang dipakai ialah minyak solar, dimana nilai kalor minyak solar adalah 36x10⁻⁶ TJ/liter (Ditjen Ketenagalistrikan KemESDM). Pada perhitungan di atas diasumsikan pula armada (truk) melaju dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam. Jika rata-rata lama perjalanan pengiriman ialah 7 jam, maka diperoleh:

$$\epsilon_o = \left(53,34 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{jam}}\right) (7 \text{ jam/pesanan}) = 373 \text{ kg CO}_2/\text{pesanan}$$

- *Holding emission factor*

Besaran faktor emisi tersebut memiliki satuan: kg carbon/jam/unit produk. Analisis akan dilakukan dengan menyesuaikan satuan tersebut berdasarkan data-data yang tersedia.

Emisi penyimpanan muncul dari penggunaan energi listrik, maka dinamakan emisi tidak langsung (emisi sesungguhnya muncul pada saat pembakaran batubara untuk memanaskan *boiler*). Menurut Ditjen Ketenagalistrikan KemESDM, faktor emisi untuk listrik kawasan Jawa-Madura-Bali (JAMALI) ialah sekitar 875 kg CO₂/mwh atau 0,875 kg CO₂/kwh (tahun 2016).

Sebagai contoh, misalnya suatu perusahaan *retailer* menggunakan energi listrik untuk menjaga suhu (dan kelembaban) ruangan tanpa berhenti (jadi 1 bulan = 30 hari = 720 jam). Dimisalkan bahwa produk harus dijaga pada kelembaban ruangan antara 50% s.d. 55%, maka suhu ruangan harus 20°C. Anggap, rata-rata dalam tiap bulannya perusahaan tersebut menyimpan 30 unit barang sehingga menghabiskan energi listrik sejumlah 2.500 kwh. Diasumsikan energi listrik tersebut terserap secara merata oleh sejumlah produk yang disimpan selama waktu penyimpanan. Sehingga, diperoleh faktor emisi penyimpanan per unit produk per jam:

$$\begin{aligned}\epsilon_H &= 0,875 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kwh}} = \left(0,875 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kwh}}\right) \left(\frac{2.500 \text{ kwh}}{1 \text{ bulan} \cdot 30 \text{ unit}}\right) \left(\frac{1 \text{ bulan}}{720 \text{ jam}}\right) \\ &= 0,101 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{unit} \cdot \text{jam}}\end{aligned}$$

- *Carbon price, C_ε*

Carbon price atau pajak carbon, $C_e \cong 300$ Rp/kg CO₂ (sumber: *Climate protection and Justice Act*, carbontax.org: US\$21,44/ton pada tahun 2019).

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagai contoh penerapan diambil kasus hipotetik sebagai berikut. Perusahaan *retailer* produk menghadapi *demand* sebesar 250.000 unit/bulan. Biaya setup/pemesanan ialah Rp 1.400.000,-. Biaya penyimpanan Rp 29.750/unit/bulan. Biaya kehabisan (dalam bentuk *opportunity loss*) diperkirakan Rp 1.400.000,-/unit produk. Data historis menunjukkan bahwa *demand* selama *leadtime* terdistribusi uniform antara 0 dan 250 unit.

Analisis tradisional dengan menggunakan algoritma Hadley-Whitin (lihat Taha, 2017 untuk pemahaman algoritma tersebut) memberikan nilai $Q = 712.390$ unit/pesanan dan $R = 235$ unit. Namun, jika aspek emisi dipertimbangkan dengan nilai *setup emission factor* dan *holding emission factor* seperti dicontohkan sebelumnya, maka algoritma Hadley-Whitin memberikan nilai $Q = 3.000.446$ unit/pesanan dan $R = 139$ unit.

Perbedaannya sangat signifikan. Berdasarkan pertimbangan emisi dan biaya, disarankan untuk menaikkan kuantitas pemesanan, dan menurunkan titik pemesanan kembali. Untuk contoh kasus yang dibahas, terjadi kenaikan kuantitas order lebih dari 320%, dan penurunan titik pemesanan kembali 40%. Namun demikian, perubahan nilainya sesungguhnya sangat bergantung pada kondisi kasusnya, terutama pada besarnya *demand* dan nilai produk yang mempengaruhi biaya penyimpanan (*holding cost*) dan biaya kehabisan (*shortage cost*), selain tentu saja besarnya pajak carbon.

4. Simpulan

Dampak emisi carbon menuntut perlunya evaluasi pada metode penentuan keputusan-keputusan operasional di *supply chain*. Kriteria tradisional yang hanya menekankan pada minimasi total cost inventory harus mulai mempertimbangkan juga besarnya emisi carbon yang muncul. Salah satu cara untuk melibatkan kuantitas emisi ke dalam kriteria pengambilan keputusan ialah dengan mengkonversikannya menjadi besaran *emission cost* sehingga dapat digabungkan ke dalam *total cost*. Ternyata pengaruhnya sangatlah signifikan.

Daftar Pustaka

- _____. KemenLH, (2012). *Pedoman Penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional: Kegiatan pengadaan dan penggunaan energi*, Buku II, Vol.1, Republik Indonesia
- _____. Tempuh 3,8 km, bus baru Hino konsumsi 1 liter solar, tribunnews.com, (20 Nopember 2013)
- _____. Carbon Tax Center: Pricing carbon efficiently and equitably, carbontax.org (21 Pebruari 2019)
- Altiok, T. (1998). *Performance analysis of manufacturing systems*. Springer Science and Business Media
- Ciptomulyono, U., 2012, *Refleksi: Pemikiran seputar kebijakan lingkungan industri dan energi*, ITS Press
- Gershwin, S. B. (1994). *Manufacturing systems engineering*. Prentice Hall
- Karaman, A., and Altiok, T. (2009). Approximate analysis and optimization of batch ordering policies in capacitated supply chains. *European Journal of Operational Research*, 193(1), pp. 222-237

- Murdapa, P.S., (2019), Model Performansi Sistem Supply Chain yang Melibatkan Variabel Emisi Carbon, Disertasi Program Studi Doktoral Teknik Industri (Tidak dipublikasikan), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya
- Murdapa, P. S., Pujawan, I N., Karningsih, P.D., and Nasution, A. H., (2019), A numerical analysis model involving carbon emissions in a single echelon supply chain systems with two distribution channels: A preliminary model proposed, The 6th International Conference of Industrial Engineering and Applications (ICIEA), IEEE, Waseda, Japan
- Russell, R.S. and Taylor, B. T., (2010), *Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain*, Seventh Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Saetta, S., Paolini, L., Tiacci, L., and Altiok, T. (2012). A decomposition approach for the performance analysis of a serial multi-echelon supply chain. *International Journal of Production Research*, 50(9), pp. 2380-2395
- Singgih, M. L. (2012), *Green Productivity: Konsep dan Aplikasi*, ITS Press
- Taha, H. A., (2017), *Operations Research: An Introduction*, Tenth Edition, Pearson Education Limited