

Model EOQ *Perishable Item* dengan Penurunan Minat Pembeli Menggunakan Kedatangan *Uniform*

Andes Ginola^{1*}, Angel Olivia², Edwin Sutiana³

^{1,2,3}) Program Magister Logistik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10, Bandung, 40132, Indonesia

ABSTRAK

Item perishable merupakan produk yang memiliki keterbatasan siklus hidup sehingga mempengaruhi minat konsumen. Penurunan minat konsumen mendekati masa kedaluwarsa memerlukan perhatian khusus terkait dengan inventori yang dipesan. Asumsi yang digunakan dalam model wilson adalah terkait dengan kedatangan serentak. Penelitian ini berkaitan dengan validitas model wilson sehingga kedatangan serentak menjadi kedatangan uniform terkait inventori. Penelitian ini merubah kecepatan kedatangan barang dengan menambahkan konstanta kecepatan kedatangan (R) pada item perishable. Didapatkan bahwa perubahan kedatangan barang secara uniform memperkecil inventori yang disimpan dengan ditunjukkan oleh total ongkos inventori yang semakin mengecil. Hasil ini didapatkan dengan membandingkan total ongkos pada kedatangan serentak dan kedatangan uniform. Nilai konstanta R yang semakin besar akan mempengaruhi kenaikan nilai total ongkos.

Kata kunci: inventori, perishable items, kedatangan uniform, konstanta R

ABSTRACT

Perishable items are products that have a limited life cycle that affects consumer interest. A decrease in consumer interest near expiration requires special attention related to the inventory ordered. The assumptions used in the Wilson model are related to simultaneous arrivals. This research is related to the validity of the Wilson model so that simultaneous arrivals become uniform arrivals related to inventory. This research changes the arrival speed of goods by adding a constant arrival speed (R) to perishable items. It was found that changing the uniform arrival of goods minimizes the inventory stored as indicated by the shrinking total inventory cost. This result is obtained by comparing the total cost of simultaneous arrival and uniform arrival. The larger value of the constant R will affect the increase in the total cost value.

Keywords: inventory, perishable items, uniform arrival, constant R

1. Pendahuluan

Dalam kasus nyata, terdapat produk yang memiliki siklus hidup yang pendek. Hal ini terjadi pada produk makanan dan minum yang tidak diawetkan. Hal ini membuat pemodelan inventori menghasilkan total biaya yang tinggi jika tidak mempertimbangkan keinginan untuk membeli dengan mengabaikan fakta bahwa produk cepat rusak. Keterbatasan siklus hidup produk mempengaruhi penyimpanan inventori sehingga diperlukan perhitungan yang akurat agar persediaan produk tidak terlalu banyak ataupun sedikit. Jika produk disimpan sangat banyak, maka inventori akan berpengaruh terhadap ongkos total dan tingkat limbah yang harus dibuang. Sedangkan, produk yang terlalu sedikit dapat mempengaruhi tingkat pelayanan terhadap konsumen. Hal ini mendorong penelitian ini untuk mengembangkan model persediaan dengan mempertimbangkan keseluruhan aspek.

Model EOQ (*Economic Order Quantity*) menunjukkan bahwa permintaan konstan setiap waktu dan merupakan variabel yang bertanggung jawab terhadap penipisan persediaan (*The Factory Management Series: Operation and Costs*, 1915). Selain itu, kualitas diasumsikan tetap sepanjang waktu (tidak terjadi penurunan kualitas). Ghare & Schrader, 1963) mendiskusikan mengenai perhitungan persediaan dengan mempertimbangkan penurunan permintaan secara eksponensial sehingga terjadinya penipisan inventori. Barang yang mudah rusak dibagi menjadi 2 kelompok yaitu barang yang memiliki penurunan permanen dan barang yang memiliki siklus hidup atau masa pakai yang terbatas (Liming & Din-Hua, 1999).

Penelitian mengenai persediaan untuk produk yang mudah rusak dirincikan oleh Nahmias (1982). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara produk dengan permintaan konstan dan permintaan stokastik serta terdapat beberapa siklus hidup produk. Haiping & Wang (1990) mengembangkan model EOQ dimana permintaan berbanding lurus dengan waktu siklus, hanya mempertimbangkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan inventori. Dari kedua penelitian ini, model EOQ hanya mempertimbangkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan. Beberapa literatur diatas mengasumsikan permintaan menurun dari waktu ke waktu karena adanya pembusukkan.

Boulaksil (2016) mengembangkan penempatan stok pengaman memungkinkan perusahaan mencapai tingkat pelayanan yang tinggi dengan memiliki stok yang dioptimalkan di gudang mereka. Namun, kesediaan untuk membeli produk dari waktu ke waktu karena hilangnya kualitas. Terlepas dari tingkat degradasi produk, konsumen membeli barang apapun dan keinginan untuk membeli dipengaruhi oleh kualitas produk.

Penelitian lain oleh Panda dkk. (2011) mengusulkan model EOQ untuk produk yang terdeteriorasi dengan menggunakan distribusi Weibull. Dalam penelitian ini, penulis mempertimbangkan biaya kerusakan dan kekurangan produk. Gan dkk. (2018) mengusulkan model penetapan harga untuk produk dengan siklus hidup yang pendek dengan permintaan bervariasi. Pengembangan dilakukan pada produk yang memiliki rantai pasok loop tertutup dengan hasil acak dan permintaan acak.

Penelitian yang telah disebutkan sebelumnya mayoritas tidak mempertimbangkan biaya untuk membuang limbah produk yang tidak terjual karena terdapat kerusakan dari waktu ke waktu. Namun, Wang & Li (2012) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi limbah pembusukan makanan dan memaksimalkan keuntungan ritel makanan melalui pendekatan penetapan harga berdasarkan umur simpan makanan secara dinamis. Penelitian lainnya yang menjadi acuan utama pada penelitian ini adalah penelitian oleh Díaz dkk. (2020).

Penelitian yang dilakukan oleh Díaz dkk. (2020) mengusulkan dua konsep untuk memodelkan kebijakan EOQ yaitu unit yang tersisa setiap siklus yang menghasilkan biaya pembuangan dan permintaan barang yang mudah rusak. Permintaan berhubungan dengan kesediaan awal pelanggan untuk mendapatkan produk sedangkan penjualan berhubungan dengan minat beli efektif pelanggan yang sebenarnya. Proses ini terjadi pada produk yang mudah rusak dimana kemauan untuk membeli produk menurun selama masa pakai produk.

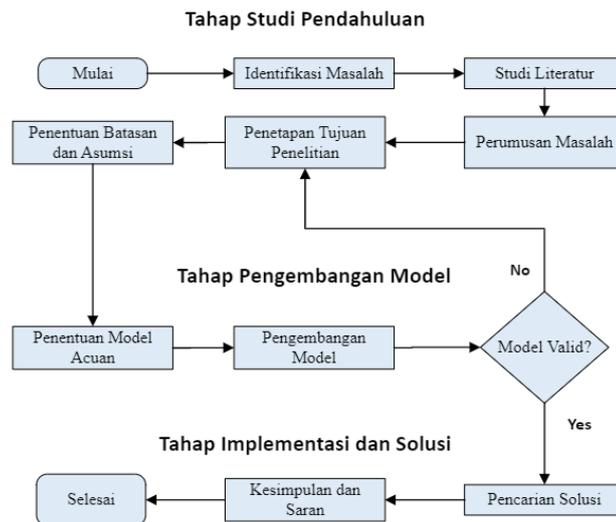
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan penelitian yang dilakukan oleh Díaz dkk. (2020). Penelitian yang dilakukan sebelumnya memperhitungkan inventori dengan kedatangan serentak. Kemudian, penelitian ini mencoba mengembangkan model EOQ pada produk yang mudah rusak dengan kedatangan *uniform*. Kedatangan *uniform* dapat digunakan saat persediaan menumpuk secara berkelanjutan selama waktu tertentu dan diasumsikan kuantitas pesanan produksi (Bahagia, 2006). Hal ini berarti perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat produksi harian (aliran persediaan) dan tingkat permintaan harian. Kedatangan *uniform* memiliki kecepatan sebesar R (unit per-periode). Tujuan penelitian ini untuk melihat pengaruh kedatangan *uniform* terhadap total biaya persediaan serta melihat pengaruh nilai R terhadap total biaya persediaan. Penelitian ini mencoba untuk melakukan validitas terhadap model Wilson yang digunakan terhadap perhitungan persediaan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Díaz dkk. (2020). Penelitian sebelumnya berfokus pada perhitungan persediaan menggunakan model EOQ untuk *perishable items* dengan memperhitungkan penurunan minat pembeli seiring dengan menurunnya siklus hidup produk tersebut. Penelitian kemudian dikembangkan dengan mempertimbangkan kedatangan *uniform* untuk *perishable items* dengan mempertimbangkan minat pembeli yang menurun seiring dengan penurunan siklus hidup produk.

Metode penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahap yang digambarkan pada Gambar 1.

Metode penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yaitu tahap studi pendahuluan, tahap pengembangan model dan tahap implementasi dan solusi. Setiap tahapan memiliki sub-tahap yang dijelaskan pada penjelasan sebagai berikut.



Gambar 1. Metode Penelitian

2.1 Tahap Studi Pendahuluan

Tahapan ini merupakan awal tahapan yang dilakukan untuk persiapan penelitian. Tahapan studi pendahuluan ini dilakukan dengan mencari jurnal acuan yang ingin dikembangkan pada penelitian ini. Jurnal yang relevan tentang model inventaris barang yang mudah rusak dicari dan dikumpulkan. Algoritma pencarian berbasis kata kunci untuk pemilihan artikel jurnal utama yang ingin dikembangkan. Kata kunci yang dimasukkan dalam kotak pencarian lanjutan bersama dengan "inventory". Kata kunci berikut juga mengikuti pencarian jurnal berupa "deterioate", "deteriorating", "deterioration", "perishable", "decay", dan "shelf life" dalam judul abstrak dan kata kunci yang dipertimbangkan. Pemilihan jurnal acuan juga dicari berdasarkan tahun penerbitan jurnal dimana pengembangan ini dilakukan untuk jurnal yang berkisar tahun 2020-2023. Pemilihan jurnal acuan juga berdasarkan pengembangan yang dapat dilakukan oleh penulis.

Jurnal acuan yang dipilih adalah jurnal penelitian oleh Díaz dkk. (2020). Penelitian ini berjudul "Economic Order Quantity for Perishables with Decreasing Willingness to Purchase During Their Life Cycle" dibedah untuk melihat permasalahan yang diangkat. Pembedahan juga dilakukan mengecek pengembangan yang dilakukan untuk penelitian yang dilakukan saat ini. Pencarian model pengembangan dilakukan dengan melakukan studi literatur pada buku Sistem Inventori (Bahagia, 2006). Pada buku tersebut, dikemukakan masalah validitas Model Wilson yang dapat membuka asumsi yang digunakan oleh Model Wilson. Hal ini sesuai dengan acuan jurnal penelitian yang menggunakan asumsi Model Wilson. Studi pendahuluan juga melakukan penetapan tujuan serta penetapan asumsi dan batasan dari permasalahan yang ada.

2.2 Tahapan Pengembangan Model

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, pengembangan model dilakukan dengan menggunakan model validitas Model Wilson. Jurnal acuan yang dipilih menggunakan asumsi Model Wilson dimana asumsi Model Wilson tersebut adalah kedatangan barang datang serentak pada saat pemesanan dilakukan. Model Wilson ini yang digunakan dalam jurnal acuan dimana kedatangan barang dilakukan serentak. Model Wilson kemudian dikembangkan dengan membuka asumsi tersebut sehingga pengembangan dilakukan untuk kedatangan barang secara *uniform*. Kedatangan barang secara *uniform* memiliki kecepatan R yang ditambahkan pada pengembangan model yang digunakan.

Asumsi yang digunakan oleh penelitian ini yaitu:

- Permintaan tetap konstan dari waktu ke waktu
- Kekurangan produk tidak dipertimbangkan
- Keinginan konsumen untuk membeli menurun secara proporsional terhadap pengurangan produk selama siklus hidupnya
- Permintaan dan penjualan suatu produk tidak bergantung pada produk lain sehingga persamaan yang diturunkan
 - Unit yang tidak terjual akan dibuang pada siklus akhir hidupnya
 - Waktu mengisi kembali adalah seketika.

- Satu periode kerja berjumlah 360 hari
- Nilai R (konstanta kedatangan) tidak ditentukan tetapi mencari pengaruh terhadap total biaya
- Ukuran lot ekonomis diasumsikan sama dengan jurnal acuan
- Pengembangan model dilakukan tidak pada keseluruhan kondisi jurnal acuan dimana kondisi jurnal acuan $T > W$ dan $T < W$ (ini yang dikembangkan)

Pengembangan model menghasilkan model baru dengan menambahkan kecepatan R yang mempengaruhi model (total biaya inventori). Model baru dilakukan validasi model. Validasi model dilakukan dengan menginput satuan ke dalam formula yang dikembangkan dan mengeliminasi satuannya untuk melihat model pengembangan sudah sesuai dengan yang diharapkan.

2.3 Tahapan Implementasi dan Solusi

Tahapan ini dilakukan setelah model yang dikembangkan telah valid oleh validasi model. Pencarian solusi dilakukan dengan membandingkan nilai total biaya inventori yang berada pada jurnal acuan utama dan model yang telah dikembangkan. Pada pencarian solusi, nilai ukuran lot ekonomis (Q) diasumsikan sama dengan jurnal acuan.

Perbandingan dilakukan dengan membandingkan nilai total biaya inventori antara model pada jurnal acuan dan model yang dikembangkan. Selanjutnya, perhitungan dilakukan untuk kecepatan kedatangan (R) yang dilakukan dengan inumerasi total yaitu berupa simulasi untuk mengetahui nilai R yang optimal. Nilai R yang optimal dapat meminimasi total biaya inventori sehingga nantinya didapatkan pengaruh nilai R terhadap total biaya inventori.

Terakhir, penelitian ini ditutup dengan menarik kesimpulan serta memberikan saran terkait dengan pengembangan model yang dilakukan. Saran juga dilakukan untuk penelitian selanjutnya sehingga model dapat dikembangkan lebih baik lagi.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi mengenai formulasi model inventori dengan kedatangan *uniform* serta analisis model inventori dengan kedatangan *uniform*.

3.1 Formulasi Model Inventori dengan Kedatangan Uniform

Pengembangan model yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada penelitian Diaz, Ronald David dkk (2020). Penelitian tersebut dikembangkan dengan menambahkan suatu konstanta yaitu R (kecepatan kedatangan) sehingga kedatangan produk dianggap kedatangan *uniform*.

Pengembangan model inventori diawali dengan menggambarkan diagram pengaruh mengenai pengembangan model yang akan dibangun. Diagram pengaruh menggambarkan *input*, variabel dan fungsi tujuan dari pengembangan model.

Diagram pengaruh dalam pengembangan model menambahkan 1 *controllable input* yang digunakan yaitu kecepatan kedatangan produk. Kecepatan kedatangan produk ini merupakan input tambahan terkait dengan kedatangan *uniform* yang digunakan pada penelitian kali ini. Kecepatan kedatangan *uniform* memberikan dampak yang berbeda terhadap nilai ekspektasi inventori dan berpengaruh terhadap nilai total biaya atau ongkos total.

Pada penelitian acuan, perhitungan dimulai dengan menghitung nilai inventori yang didapatkan dari nilai produk yang dipesan dan nilai produk yang dapat dijual.

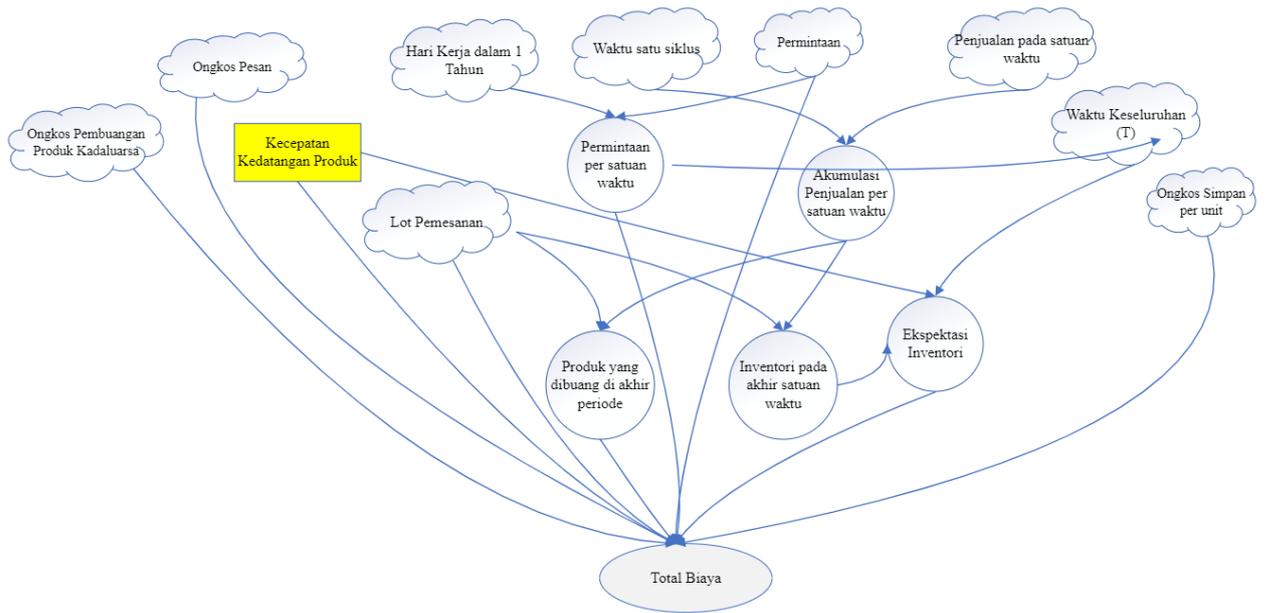
$$I(t, i) = Q - S(t, i) \quad (1)$$

Sehingga didapatkan nilai rata-rata inventori pada sebuah siklus waktu adalah:

$$\bar{I}(i) = \frac{\int_0^T I(t, i) dt}{T} = \frac{\int_0^T [Q - S(t, i)] dt}{T} = \frac{\int_0^T Q dt - \int_0^T S(t, i) dt}{T} \quad (2)$$

Hal ini berarti nilai ekspektasi inventori untuk satu siklus waktu adalah:

$$E(\bar{I}(i)) = \frac{\int_0^T Q dt - \int_0^T [\int_0^t E(s(t, i)) dt] dt}{T} \quad (3)$$



Gambar 2. Diagram Pengaruh Pengembangan Model

Dengan nilai $s(t,i)$ mempunyai nilai yang diharapkan sebesar $r = 1 - \frac{t}{W}$, mengganti nilai Persamaan (3) menjadi

$$E(\bar{I}(i)) = \frac{\int_0^T Q dt - \int_0^T [\int_0^t r[1 - \frac{t}{W}] dt] dt}{T} = \frac{\int_0^T Q dt - r \int_0^T [t - \frac{t^2}{2W}] dt}{T} \tag{4}$$

Didapatkan dengan menyelesaikan Persamaan (2) didapatkan nilai:

$$E(\bar{I}(i)) = Q \left[\frac{1}{2} - \frac{Q}{6rW} \right]; \forall T < W \tag{5}$$

Persamaan (5) kemudian diturunkan dengan menambahkan kedatangan *uniform* sehingga didapatkan Persamaan (6) jika $T < W$

$$E(\bar{I}(i)) = Q \left(\frac{1}{2} + \frac{Q}{6rW} - \frac{r}{2R} \right) \tag{6}$$

Kondisi lainnya adalah ketika nilai $T \geq W$ atau nilai periode siklus antar waktu pemesanan berikutnya lebih dari nilai siklus umur produk. Didapatkan persamaan berupa:

$$E(\bar{I}(i)) = rW - \frac{r^2W^2}{3Q} \tag{7}$$

Persamaan (7) kemudian diturunkan untuk mendapatkan nilai ekpektasi dengan konstanta R

$$E(\bar{I}(i)) = rW - \frac{r^2W^2}{3Q} - \frac{Qr}{2R} \tag{8}$$

Perhitungan kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai ongkos total dengan mempertimbangkan biaya pesan, biaya penyimpanan inventori, dan biaya pembuangan produk yang telah habis siklus hidupnya.

Nilai ongkos total dengan nilai $T < W$ adalah:

$$E(CT) = C_o \frac{D}{Q} + C_m Q \left[\frac{1}{2} + \frac{Q}{6rW} \right] + C_D \frac{DQ}{2rW} \tag{9}$$

Jika total ongkos diturunkan terhadap nilai Q didapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{d(E(CT))}{dQ} &= -C_0 \frac{D}{Q^2} + \frac{C_m}{2} + \frac{C_m Q}{2rW} = 0 \\ Q^3 + \frac{3[C_D D + rW C_m]}{2C_m} Q^2 - \frac{3rW C_0 D}{C_m} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Untuk ongkos total dengan keadaan $T \geq W$, didapatkan persamaan:

$$E(CT) = \frac{(6C_D - 4C_m r^2 W^2 - 3C_D D r W)}{6Q} + C_m r W + C_D D \quad (11)$$

Pada keadaan ini, nilai Q akan optimal jika dapat mencapai nilai maksimum per tahun yaitu D .

Penurunan untuk nilai ongkos total dengan penambahan kondisi kedatangan *uniform* berada pada Persamaan (12), (13), dan (15).

Ketika nilai $T < W$ didapatkan persamaan ongkos total berupa:

$$E(CT) = C_0 \frac{D}{Q} + C_m Q \left(\frac{1}{2} + \frac{Q}{6rW} - \frac{r}{2R} \right) + C_D \frac{DQ}{2rW} \quad (12)$$

Sehingga nilai Q berupa

$$Q^3 + \frac{3(rW C_m R - r^2 W C_m + C_D D R)}{2C_m R} Q^2 - \frac{3rW C_0 D}{C_m} = 0 \quad (13)$$

Untuk kondisi lainnya yaitu ketika $T \geq W$ didapatkan persamaan:

$$E(CT) = -\frac{C_m Q r}{2R} + \frac{6C_0 D - 2C_m r^2 W^2 - 3C_D D r W}{6Q} + C_m r W + C_D D \quad (14)$$

Pada interval $Q \in [rW, D]$, nilai $C_T > 0$. Jika $6C_0 D - 2C_m r^2 W^2 - 3C_D D r W > 0$ maka grafik T_c merupakan grafik fungsi turun yang dibuktikan oleh turunan pertama C_T terhadap Q yaitu,

$$\frac{dC_T}{dQ} = -\frac{C_m r}{2R} - \frac{6C_0 D - 2C_m r^2 W^2 - 3C_D D r W}{6Q^2} < 0 \quad (15)$$

Akibatnya pada kondisi tersebut, pilih $Q = D$ untuk memperoleh ongkos total minimum.

Notasi parameter yang digunakan dalam jurnal ini antara lain:

1. Q = Kuantitas pesanan/Lot Pemesanan
2. n = Jumlah permintaan per satuan waktu
3. D = Permintaan tahunan.
4. r = Permintaan per satuan waktu
5. T = Waktu antara Pesanan pembelian
6. W = Siklus hidup produk
7. $S(t, i)$ = Akumulasi penjualan pada waktu t siklus i
8. $I(t, i)$ = Persediaan pada waktu t siklus i
9. $\bar{I}(i)$ = Rata-rata persediaan selama siklus i
10. c_o = Biaya Pemesanan
11. c_m = Biaya penyimpanan tahunan per unit
12. c_D = Biaya satuan per produk yang dibuang pada akhir siklus hidup
13. R = Kecepatan kedatangan produk

3.2 Analisis Model Inventori dengan Kedatangan Uniform

Berdasarkan pada jurnal acuan yang membahas mengenai pengembangan model matematika untuk menentukan Kuantitas Pesanan Ekonomis (EOQ) untuk produk yang mudah rusak dengan penurunan kemauan untuk membeli selama siklus hidupnya, di mana kedatangan barang dalam jurnal acuan adalah serentak, dilakukan perubahan dengan kedatangan yang *uniform* sehingga akan terdapat penambahan variabel kecepatan kedatangan (R) dalam model, dan berapa R optimal yang dapat meminimasi ongkos total.

Terdapat batasan dalam melakukan perhitungan pada kasus ini, yaitu lot ekonomis (Q) diasumsikan diketahui untuk setiap data, dikarenakan walaupun terdapat model matematik dalam jurnal acuan, tetapi dalam menghitung Q, para penulis menggunakan metode aproksimasi dan tidak ada penjabaran secara spesifik mengenai langkah penggunaan metode tersebut, sehingga ditemukan kendala dalam melakukan validasi ukuran lot ekonomis (Q) yang ada pada jurnal acuan melalui perhitungan. Maka dari itu perbandingan yang dilakukan adalah hanya pada ongkos total saja berdasarkan model yang sudah dikembangkan dengan merubah kedatangan barang yang secara serentak menjadi *uniform*. Batasan lain adalah perbandingan model yang sudah dikembangkan hanya terbatas pada saat kondisi $T < W$ atau $Q < rW$. Hal ini dikarenakan keterbatasan data dan perhitungan dalam jurnal acuan, sehingga hanya tidak ada pembanding untuk kondisi $T \geq W$ atau $Q \geq rW$.

Perhitungan kecepatan kedatangan (R) dilakukan dengan inumerasi total, di mana dilakukan simulasi untuk mengetahui berapa R optimal yang dapat meminimasi *total cost* dengan syarat $Q/R(t) < W$. Maka, perhitungan *total cost* dan penentuan R optimal dihitung menggunakan rumus, yaitu:

$$E(TC) = C_0 \frac{D}{Q} + C_m Q \left(\frac{1}{2} + \frac{Q}{6rW} - \frac{r}{2R} \right) + C_D \frac{DQ}{2rW} \quad (16)$$

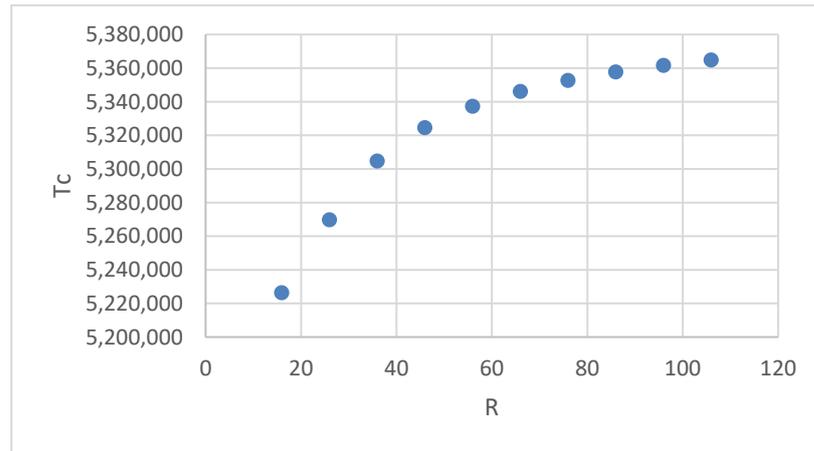
Tabel 1 Perbandingan Ongkos Total diperoleh dari jurnal acuan dengan model yang sudah dikembangkan, dengan nilai R optimal yang didapatkan melalui inumerasi total.

Tabel 1 Perbandingan Ongkos Total

No	D	Co	Cd	Cm	W	Q	R	OT Acuan	OT Model	% Gap
1	20,000	40,000	1,000	400	20	295	16	5,431,086	5,226,225	3.8%
2	500,000	150,000	200	60	45	9,488	10	15,794,165	13,793,134	12.7%
3	1,200	5,000,000	100,000	30,000	100	172	3	68,867,481	64,452,814	6.4%
4	500	30,000	50,000	20,000	50	10	6	3,404,800	3,321,652	2.4%
5	2,000	30,000	1,000	500	15	70	21	1,719,543	1,704,413	0.9%
6	2,500	200	5	2	25	116	13	8,628	8,497	1.5%
7	24,000	5,000	40	12	70	1,046	5	229,056	141,611	38.2%
8	85,000	10,000	2,000	350	45	323	7	5,272,677	3,332,165	36.8%
9	100	200	20	10	20	5	16	4,933	4,917	0.3%
10	12,000	400	30	5	10	95	32	102,086	101,696	0.4%

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan kedatangan barang dari kedatangan serentak menjadi kedatangan *uniform*, *total cost* pada model yang dikembangkan mengalami penurunan dengan persentase yang beragam pada setiap data. Hal ini menunjukkan bahwa kedatangan *uniform* akan selalu memiliki *total cost* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kedatangan serentak.

Dalam perhitungan tersebut juga diketahui bahwa pada saat melakukan inumerasi total untuk menentukan kecepatan kedatangan (R) yang optimal, semakin besar nilai R maka *total cost* juga akan ikut naik. Grafik dibawah diambil dari kasus no. 1, sebagai gambaran jika R semakin besar, maka *total cost* juga akan semakin bertambah. Namun pertambahan *total cost* ini perlahan akan membentuk garis horizontal jika nilai R semakin besar, seperti yang di jelaskan dalam Bahagia (2006), dengan memasukkan nilai R menuju tak terhingga, maka akan diperoleh formula wilson yang awal, (dalam hal ini adalah formula sebelum pengembangan).



Gambar 2. Grafik Nilai R terhadap Ongkos Total

Alasan utama dari penelitian dilakukan adalah bahwa penelitian ini menawarkan kerangka kerja yang lebih realistis untuk memodelkan persediaan barang yang mudah rusak, yang menghasilkan hasil yang spesifik pada domain tertentu yang meningkatkan penerapan penelitian pada praktik industri. Dalam konteks barang yang mudah rusak (*perishable goods*), kecepatan kedatangan permintaan konsumen (R) memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kebijakan inventori, terutama dalam hal biaya total (*total cost*) yang mencakup biaya pemesanan, penyimpanan, dan kerugian akibat kedaluwarsa. Tidak seperti barang *non-perishable*, barang *perishable* memiliki batas waktu konsumsi yang ketat sehingga stok yang tidak terjual dalam waktu tertentu akan rusak dan menimbulkan biaya pembuangan (*waste cost*). Jika R terlalu rendah, artinya permintaan datang secara lambat, maka stok yang disimpan cenderung tidak habis sebelum kedaluwarsa. Hal ini akan menyebabkan pemborosan dan tingginya biaya penyimpanan serta biaya buang. Sebaliknya, jika R terlalu tinggi namun stok yang tersedia tidak mencukupi, maka perusahaan akan mengalami kekurangan pasokan (*stockout*) yang menyebabkan kehilangan penjualan dan kepercayaan pelanggan.

Sebagai contoh nyata, pada perusahaan seperti Frisian Flag yang memproduksi susu UHT, perkiraan R yang akurat sangat penting. Susu memiliki umur simpan terbatas di tingkat retail. Jika permintaan konsumen terlalu lambat (R rendah), maka stok akan menumpuk dan mendekati tanggal kedaluwarsa sebelum terjual habis. Hal ini memaksa produsen untuk menarik produk dari pasar dan menanggung kerugian dari produk rusak. Contoh lainnya adalah pada supermarket yang menjual buah segar, seperti Hypermart atau Superindo. Produk seperti pisang atau apel memiliki masa simpan sangat pendek. Jika *demand rate* (R) pada hari-hari biasa diremehkan, maka akan banyak stok yang rusak. Namun jika R meningkat secara musiman (misalnya saat akhir pekan atau menjelang liburan) dan perusahaan tidak mengantisipasi hal ini, maka akan terjadi kekurangan stok dan kehilangan penjualan. Dampak kerusakan dari waktu ke waktu untuk barang-barang ini dapat menghasilkan limbah yang harus dibuang, sehingga menghasilkan biaya yang tidak perlu dan berdampak negatif pada operasional. Selain itu, metode pemesanan barang juga akan berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan.

Contoh lain penerapan model ini untuk barang yang tidak mudah rusak (*non-perishable*) adalah pada perusahaan elektronik seperti *handphone*. Pada saat perusahaan (contoh: Samsung) merilis produk *handphone* terbaru, perilaku konsumen umumnya menunjukkan lonjakan pembelian di minggu pertama setelah peluncuran, yang artinya minat konsumen untuk membeli akan sangat tinggi. Dalam kondisi seperti ini, perusahaan harus menyiapkan stok dalam jumlah besar sejak awal agar dapat memenuhi permintaan yang padat dalam waktu singkat. Namun, konsekuensinya adalah meningkatnya biaya penyimpanan (*holding cost*) karena volume inventori yang besar disimpan sebelum produk benar-benar terjual. Sebaliknya, jika strategi peluncuran dilakukan secara bertahap ke berbagai wilayah, maka permintaan menjadi lebih tersebar dan kecepatan kedatangan R menjadi lebih rendah. Dalam situasi ini, perusahaan dapat melakukan *replenishment* secara bertahap mengikuti kecepatan penjualan aktual sehingga biaya penyimpanan bisa ditekan secara signifikan.

Secara umum, para manajer harus menyadari bahwa memutuskan apa yang harus dilakukan pada saat yang tepat terhadap metode pemesanan barang dan terhadap barang yang dapat musnah, biasanya menghasilkan hasil yang positif. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi tingkat persediaan yang tepat untuk barang yang mudah rusak, yang dapat memandu operasi rantai pasokan mereka untuk menyesuaikan sehingga dapat menghindari hasil yang tidak optimal.

Kesimpulan dan Saran

Pengembangan dilakukan dengan mengubah kedatangan barang yang semula datang secara serentak menjadi kedatangan *uniform* sehingga terdapat penambahan variabel kecepatan kedatangan (R) yang mana dalam paper ini variabel tersebut merupakan *controllable input* yang akan dicari nilai optimumnya yang dapat meminimumkan ongkos total dan dengan penambahan asumsi bahwa ukuran lot pemesanan (Q) adalah diketahui pada setiap kasus. Berdasarkan perhitungan menggunakan model yang sudah dikembangkan, diperoleh nilai kecepatan kedatangan (R) paling optimum pada setiap kasus yang ada dan terbukti dapat menurunkan ongkos total, sehingga pemilihan metode pemesanan barang secara *uniform* ini menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan agar ongkos total yang dihasilkan menjadi minimum.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dengan menawarkan kerangka kerja yang lebih realistis untuk pengelolaan persediaan, khususnya pada barang yang mudah rusak. Dengan memasukkan kecepatan kedatangan permintaan (R) sebagai parameter utama, model ini mampu mencerminkan dinamika permintaan yang sesungguhnya dan dampaknya terhadap total biaya inventori. Melalui contoh pada industri makanan dan elektronik, terlihat bahwa pengelolaan R yang tepat dapat membantu perusahaan menyeimbangkan antara permintaan pasar dan efisiensi operasional. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk secara aktif mengukur dan menyesuaikan strategi inventori berdasarkan kecepatan permintaan, guna meminimalkan biaya dan memaksimalkan respons terhadap pasar. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi perencanaan persediaan, tetapi juga memperkuat ketahanan dan adaptabilitas rantai pasok dalam menghadapi ketidakpastian permintaan.

Penelitian ini masih tergolong sangat sederhana sehingga untuk pengembangan selanjutnya diharapkan dapat memperhatikan variasi lain seperti barang *multi-item*, model diskon, adanya ongkos kekurangan, atau isu-isu lain yang dapat menyebabkan model ini lebih dapat diterapkan di kehidupan nyata.

Daftar Pustaka

1. Bahagia, S. N. (2006). *Sistem Inventori*. ITB Press.
2. Boulaksil, Y. (2016). Safety stock placement in supply chains with demand forecast updates. *Operations Research Perspectives*, 3, 27–31.
3. Díaz, R. D. S., Paternina-Arboleda, C. D., Martínez-Flores, J. L., & Jimenez-Barros, M. A. (2020). Economic order quantity for perishables with decreasing willingness to purchase during their life cycle. *Operations Research Perspectives*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100146>
4. Gan, S.-S., Pujawan, I. N., Suparno, & Widodo, B. (2018). Pricing decisions for short life-cycle product in a closed-loop supply chain with random yield and random demands. *Operations Research Perspectives*, 5, 174–190.
5. Ghare, P. M., & Schrader, G. H. (1963). A model for an exponentially decaying inventory. *International Journal of Production and Research*, 21, 449–460.
6. Haiping, X., & Wang, H.-P. (1990). An economic ordering policy model for deteriorating items with time proportional demand. *European Journal of Operational Research*, 46, 21–27.
7. Liming, L., & Din-Hua, S. (1999). An (s,S) model for inventory with exponential lifetimes and renewal demands. *Naval Research Logistics*, 46(1), 39–56.
8. Nahmias, S. (1982). Perishable Inventory Theory: A Review. *Operation Research*, 30, 680–708.
9. Panda, S., Saha, S., & Basu, M. (2011). AN EOQ MODEL WITH GENERALIZED RAMP-TYPE DEMAND AND WEIBULL DISTRIBUTION DETERIORATION. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 24.
10. *The Factory Management Series: Operation and costs*. (1915). A.W. Shaw Company.
11. Wang, X., & Li, D. (2012). A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. *Omega*, 40, 906–917.