

## Optimalisasi Persediaan Bahan Baku Kemas dengan Metode Program Dinamis Algoritma Wagner Within

### *Packing Material Inventory Optimization with Dynamic Program Method Wagner Within Algorithm*

**Alim Setiawan Slamet\***

Departemen Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University  
E-mail: alimss@apps.ipb.ac.id

**Eka Kresno Dianti**

Departemen Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University  
E-mail: ekakd@gmail.com

#### **ABSTRACT**

*Inventory is a very important role for a company especially manufacturing industry. Good inventory control is needed to manage inventory to be effective and efficient. This research held at PT XYZ because there are some problems such as overload warehouse and overstock inventory. The purpose of this research is to analyze packaging material inventory to get the optimal inventory with warehouse capacity constraint. Primary data were obtained through observation at Pulogadung warehouse, interview with related divisions, and secondary data were obtained from company documents. Data were analyzed by Material Requirement Planning with Wagner Within Algorithm Dynamic Program Method. The result of this research show that Wagner Within Algorithm dynamic program can decrease the expand of the company beside the exist method the company used. Some implementation impacts of silver meal dynamic program are the availability of materials when they needed and warehouse is not overloaded.*

**Keywords:** *Inventory, manufacturing industry, material requirement planning, overload, wagner within algorithm.*

#### **ABSTRAK**

Persediaan merupakan suatu hal yang berperan sangat penting bagi suatu perusahaan terutama industri manufaktur. Pengendalian persediaan yang baik diperlukan untuk mengelola persediaan agar efektif dan efisien. Penelitian ini dilakukan di PT XYZ dikarenakan permasalahan yang dihadapi yaitu gudang yang penuh (*overload*) dan persediaan yang berlebihan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kapasitas penyimpanan maksimal gudang dan pengendalian persediaan bahan baku kemas sehingga didapatkan jumlah pemesanan dan persediaan yang optimal dengan adanya kendala keterbatasan kapasitas gudang. Data primer diperoleh melalui observasi di gudang, wawancara dengan bagian terkait dan data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan. Data dianalisis menggunakan *Material Requirement Planning* dengan metode Program Dinamis Algoritma *Wagner Within* (AWW). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa metode AWW dapat menghemat pengeluaran perusahaan dibandingkan dengan metode perusahaan saat ini. Pengimplementasian metode AWW dapat berpengaruh pada terpenuhinya bahan baku pada saat diperlukan dan tidak menyebabkan *overload*nya gudang.

**Kata kunci:** *Algoritma wagner within, industri manufaktur, material requirement planning, overload, persediaan.*

\*Corresponding author

## PENDAHULUAN

PT XYZ bergerak di bidang *Nutraceutical Product (Food Supplements dan Herbal Medicine)* dan *Over The Counter (OTC)* pada lingkup pemasaran domestik dan manca negara. Produk unggulan PT XYZ meliputi produk minuman energi, produk obat remedial, dan obat herbal. Permasalahan yang dihadapi perusahaan saat ini berhubungan dengan pengelolaan material dan persediaan. Adanya keterbatasan kapasitas penyimpanan di gudang, khususnya pada gudang *Incoming Material Control (IMC) Packaging Material*. Dimana kondisi gudang pada saat ini yaitu *overload* yang disebabkan oleh masuknya material yang berlebihan yang tidak memperhatikan adanya keterbatasan kapasitas penyimpanan gudang. Kondisi *overload* gudang bahan baku kemas PT XYZ *Plant* Pulogadung disebabkan oleh tata cara penyimpanan (*material handling*) material yang tidak sesuai dan material ditumpuk secara berlebihan. Perusahaan memiliki peraturan terhadap penempatan material yang diletakan di palet (*palet size*), yaitu tumpukan maksimal material adalah lima tumpukan/tingkat. Namun, pada praktik di perusahaan saat ini material ditumpuk hingga tujuh sampai 10 tumpukan (melebihi ketentuan yang ada). Penumpukan material yang berlebihan berdampak pada berkurangnya mutu dari material tersebut. Selain berdampak pada berkurangnya mutu, material yang ditumpuk secara berlebihan akan meningkatkan risiko kecelakaan kerja, seperti contoh kemungkinan tumpukan material akan jatuh dan mengenai pekerja.

Terjadinya *overstock* (kelebihan persediaan) pada beberapa material. Kelebihan persediaan yang terjadi diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti tingkat permintaan yang berfluktuatif di setiap periode perencanaannya; adanya *Minimal Order Quantity (MOQ)* dari pemasok; dan tidak tepatnya perusahaan dalam menentukan jumlah material yang dipesan (kesesuaian kuantitas pemesanan dengan kebutuhan). Selain itu juga timbul permasalahan *stockout* (kekurangan persediaan) pada beberapa bahan baku kemas. Kurangnya persediaan mengakibatkan terganggunya proses produksi. Produk yang terpaksa tidak diproduksi akibat tidak tersedianya bahan baku kemas akan kehilangan penjualan, sehingga akan mengurangi pendapatan perusahaan.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan dapat disimpulkan permasalahan awal atau inti yang dihadapi perusahaan, yaitu perusahaan belum mampu untuk menentukan kuantitas penyimpanan maksimal gudang bahan baku kemas untuk setiap materialnya sesuai dengan kebutuhan dalam periode perencanaan dengan kapasitas gudang yang tersedia, sehingga perusahaan juga belum mampu untuk menentukan kuantitas pemesanan yang optimal dengan adanya kendala (*constraint*) berupa kapasitas penyimpanan maksimal gudang bahan baku kemas tersebut. Tingkat persediaan bahan baku yang tinggi dapat menyebabkan pemborosan total pada biaya persediaan (Eunike *et al.*, 2017). Alasan utama suatu perusahaan memperhatikan tingkat persediaan adalah karena persediaan termasuk sumber daya yang menganggur (*idle resources*) yang berarti kalau tidak dimanfaatkan akan sia-sia, tetapi dalam satu waktu juga bila tidak ada persediaan, akan sulit memenuhi fluktuasi permintaan yang akan menyebabkan terjadinya kekurangan (Madinah *et al.*, 2015).

Menurut Katias dan Affandi (2018), perusahaan manufaktur pada umumnya melakukan perencanaan dan pengendalian persediaannya tidak berdasarkan metode-metode yang sudah baku, melainkan berdasarkan pengalaman sebelumnya. Hal tersebut sering menyebabkan terjadinya kelebihan maupun kekurangan material yang menyebabkan pembengkakan biaya serta menghambat proses produksi. Jumlah atau tingkat permintaan yang selau berubah setiap periodenya (dinamis) juga menjadi tantangan bagi perusahaan dalam mengelola persediaannya. Menurut Sipper dan Bulfin (1998) dalam penentuan *lot sizing* dibagi menjadi dua berdasarkan permintaannya yaitu statis dan dinamis. Permintaan yang bersifat statis dalam menentukan ukuran pemesanan dapat menggunakan metode *Fixed Order Quantity (FOQ)*, *Economic Order Quantity (EOQ)*, *Economic Production Quantity (EPQ)*, dan *Resource Constraints*. Sedangkan untuk permintaan yang bersifat dinamis dibagi lagi ke dalam tiga kelompok berdasarkan cara penyelesaiannya yaitu *simple*, *heuristic*, dan *optimum*. Metode *simple* merupakan metode yang tidak didasarkan langsung pada optimasi fungsi biaya, metode yang termasuk ke dalam

kelompok *simple* yaitu *Fixed Period Demand* (FPD), *Period Order Quantity* (POQ), dan *Lot for Lot* (LFL). Metode *heuristic* merupakan metode yang digunakan untuk mencapai solusi biaya terendah namun tidak harus optimal, metode yang termasuk ke dalam kelompok *heuristic* yaitu *Least Unit Cost* (LUC), *Part Period Balancing* (PPB) atau yang biasa dikenal dengan sebutan *Least Total Cost* (LTC), dan *Silver Meal* (SM). Metode yang termasuk ke dalam kelompok *optimum* yaitu metode *Wagner Within* yang memiliki tujuan yang sama dengan metode *heuristic* yaitu mencapai solusi biaya yang terendah, namun juga menghasilkan kuantitas pesan yang optimum. Algoritma *Wagner Within* (AWW) merupakan prosedur optimalisasi berdasarkan oleh program dinamis.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putri *et al.* (2014) menunjukkan bahwa metode SM dapat menghemat biaya yang dikeluarkan perusahaan sebesar 21,82 persen dibandingkan dengan metode yang digunakan perusahaan. Lain halnya dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Theresia dan Salomon (2015) yang menunjukkan bahwa metode AWW menghasilkan biaya yang terendah dibandingkan dengan metode LUC dan SM. Permasalahan yang ada di perusahaan dan berdasarkan dengan teori yang ada serta penelitian terdahulu yang telah dilakukan maka penulis akan melakukan analisis persediaan bahan baku kemas dengan menggunakan metode Algoritma *Wagner Within* dengan adanya kendala berupa kapasitas gudang. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi berupa berapa kapasitas penyimpanan maksimal dan kuantitas pemesanan optimal, serta kapan pemesanan harus dilakukan yang dapat mengoptimalkan persediaan.

### **Tinjauan Pustaka**

Menurut Assauri (2008), untuk mengatur tersedianya suatu tingkat persediaan yang optimum yang dapat memenuhi kebutuhan bahan-bahan dalam jumlah, mutu dan pada waktu yang tepat serta jumlah biaya yang rendah seperti yang diharapkan. Tujuan dari pengendalian produksi adalah merencanakan dan mengendalikan aliran material ke dalam, di dalam, dan keluar pabrik sehingga posisi keuntungan optimal yang merupakan tujuan perusahaan dapat dicapai (Kusuma, 2007). Penentuan besaran pengendalian produksi pada dasarnya memiliki kaitan erat dengan kelancaran proses produksi itu sendiri (Eisenhut, 2007). Metode terbaik untuk proses pengendalian produksi dapat menggunakan algoritma *Wagner Within* (Theresia & Salomon, 2015).

Pengendalian dan pengawasan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar kegiatan produksi dan operasi yang dilaksanakan sesuai dengan apa yang direncanakan, serta apabila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut dapat dikoreksi, sehingga apa yang diharapkan dapat tercapai (Assauri, 2004). Basuki (2016) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa metode algoritma *Wagner Within* adalah salah satu optimasi untuk memecahkan permasalahan inventory yang bersifat deterministik dinamis. Nasution dan Situmorang (2015) juga menyatakan bahwa algoritma *Wagner Within* dapat membantu pembuatan strategi pengendalian persediaan yang optimum. Perkembangan solusi penentuan besaran pengendalian persediaan berbasis algoritma menunjukkan hasil yang positif (Jans & Degraeve, 2006). Hartini dan Larasati (2009) menyatakan bahwa kebijakan pengendalian persediaan dinamis dapat menurunkan biaya persediaan, nilai DOI, serta tetap dapat memenuhi target *service level* perusahaan. Dengan menggunakan sistem perpetual atau terus menerus, maka proses persediaan bahan baku menjadi lebih terukur dan dapat diketahui dengan pasti jumlah persediaannya (Nurhasanah *et al.*, 2014). Pendekatan *heuristic* juga dapat memberikan solusi mendekati optimal dalam permasalahan pengendalian persediaan tanpa harus menggunakan perhitungan yang berlebihan (Dixon & Poh, 2007).

Persediaan menurut Assauri (2004) adalah sejumlah bahan-bahan, *parts* yang disediakan dan bahan-bahan dalam proses yang terdapat dalam perusahaan untuk proses produksi, serta barang-barang jadi atau yang disediakan untuk memenuhi permintaan dari komponen atau langganan setiap waktu. Banyak perusahaan yang mulai sadar dengan peningkatan penggunaan solusi berbasis model untuk menentukan besaran persediaan yang harus dipenuhi (Buschkul, 2008). Hasil penelitian dari Sari *et al.* (2017) menunjukkan bahwa dengan menggunakan

metode *probabilistic continuous review system*, dapat diperoleh kebijakan persediaan dengan jumlah *quantity* yang optimum. Jumlah pemesanan optimal dari produk eskrim perusahaan X dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Lagrange* (Setiawan & Hayati, 2012). Kusri (2005) juga menyatakan bahwa pendekatan metode *Lagrange* atau limit dapat digunakan untuk menentukan jumlah pemesanan optimum apabila dalam sistem terdapat kendala. Interaksi antara permodelan dan algoritma akan berperan penting dalam menyelesaikan masalah persediaan yang dialami oleh pelaku industri yang semakin kompleks (Ullah & Parveen, 2010).

Menurut Handoko (2008), yang termasuk dalam biaya persediaan adalah biaya penyimpanan, biaya pemesanan (pembelian) dan biaya penyiapan. Hasil penelitian dari Katias dan Affandi (2018) menunjukkan bahwa dengan metode analisis *Wagner Within* biaya total persediaan menjadi lebih efisien. Total biaya persediaan yang dikeluarkan oleh perusahaan menggunakan metode *Material Requirement Planning* dapat turun menjadi 46,7 persen (Wahyuni & Syaichu, 2015). Utama (2016) dalam penelitiannya menemukan solusi optimal untuk menentukan besaran biaya pemesanan menggunakan algoritma *Wagner Within*. Penelitian Eunike *et al.* (2017), menunjukkan bahwa dengan bantuan usulan *lot sizing* (EOQ), biaya persediaan dapat berkurang hingga 47 persen. Madinah *et al.* (2015) dalam hasil penelitiannya menemukan bahwa penggunaan metode *Wagner –Within* dapat meminimasi biaya yang dikeluarkan perusahaan dari segi biaya persediaan. Hasil penelitian dari Mbota *et al.* (2016) menunjukkan bahwa ada efisiensi biaya persediaan sebesar 47,53 persen jika perusahaan menggunakan metode *lot sizing* dari setiap bahan baku dan bakar. Hasil perhitungan menggunakan algoritma *Wagner Within* dengan *incremental discount* dan kendala kapasitas gudang menunjukkan bahwa adanya penghematan biaya awal sebesar 9 persen (Utama, 2017).

Menurut Assauri (2008), *lead time* adalah lamanya waktu antara mulai dilakukannya pemesanan bahan-bahan sampai dengan kedatangan bahan-bahan yang dipesan tersebut dan diterima di gudang persediaan. Periode pemesanan material yang tepat sesuai dengan jumlah permintaan yang ada dapat dibuat menggunakan bantuan algoritma *Wagner Within* (Hidayati *et al.*, 2014). Metode Algoritma *Wagner Within* dapat membantu menentukan jadwal pemesanan bahan baku yang efisien (Sari & Budiawan, 2015). Batas tenggang waktu yang ditetapkan menggunakan metode *lot sizing* ditentukan ketika persediaan bahan baku telah mencapai level *safety stock* (Rahmayanti & Fauzan, 2013).

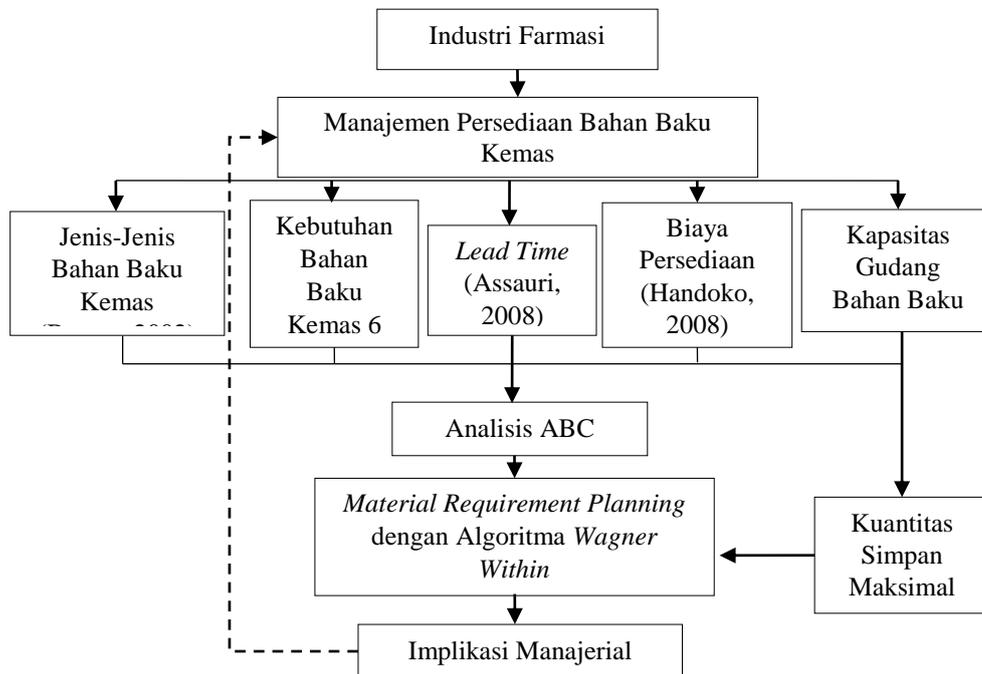
## METODE PENELITIAN

Kerangka pemikiran penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi dan menganalisis sistem manajemen persediaan bahan baku kemas. Pengidentifikasi meliputi hal-hal mengenai manajemen persediaan bahan baku kemas yaitu jenis-jenis bahan baku kemas yang digunakan selama periode perencanaan (6 bulan), kebutuhan bahan baku kemas selama periode perencanaan (6 bulan), waktu tunggu bahan baku kemas, biaya persediaan bahan baku kemas, serta kapasitas gudang yang tersedia untuk penyimpanan bahan baku kemas. Analisis kapasitas gudang bahan baku kemas akan menghasilkan *output* berupa kapasitas maksimum penyimpanan untuk seluruh bahan baku kemas.

Seluruh bahan baku kemas dianalisis dengan menggunakan analisis ABC untuk menentukan bahan baku kemas prioritas yang akan dianalisis lebih lanjut menggunakan metode program dinamis algoritma *wagner within* dengan *input* berupa kapasitas penyimpanan maksimum yang telah dihitung. Sehingga diperoleh hasil kuantitas pesan (*lot size*) optimal dalam pemesanan bahan baku kemas yang akan mengoptimalkan persediaan. Kuantitas pesan (*lot size*) yang optimal akan memberikan implikasi manajerial bagi perusahaan. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Penelitian ini menggunakan beberapa metode untuk pengolahan dan analisis data, diantaranya adalah analisis ABC, *Material Requirement Planning* (MRP), dan teknik *lot sizing* Algoritma *Wagner Within*. Peneliti menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel 2013 sebagai alat untuk mengolah data-data yang digunakan dalam penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari wawancara

dengan bagian *Production Planning and Inventory Control* (PPIC) dan bagian gudang serta hasil observasi lapangan. Data sekunder diperoleh dari studi literatur terkait penelitian. Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ Plant Pulogadung, Jakarta Barat, Indonesia.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

### Analisis ABC

Menurut Heizer dan Render (2010), analisis ABC membagi persediaan menjadi tiga klasifikasi dengan basis volume dolar tahunan. Analisis ABC adalah aplikasi persediaan dari prinsip pareto. Prinsip pareto menyatakan terdapat “sedikit hal yang kritis dan banyak yang sepele”. Gagasannya adalah untuk membuat kebijakan-kebijakan persediaan yang memfokuskan persediaan pada bagian-bagian persediaan kritis yang sedikit dan tidak banyak pada yang sepele.

Menurut Handoko (2008), hukum pareto berguna dalam pengalokasian sumber daya pengawasan, dan telah dioperasionalkan sebagai cara mengklasifikasikan persediaan menjadi kelompok A, B dan C. Secara umum identifikasi ke tiga kelompok atau kelas persediaan ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- Barang A: Barang-barang dalam jumlah unit antara 15 sampai 20 persen, tetapi mempunyai nilai 60 sampai 90 persen dari investasi tahunan total dalam persediaan.
- Barang B: Barang-barang dalam jumlah fisik 30 sampai 40 persen, tetapi bernilai 10 sampai 30 persen dari nilai investasi tahunan.
- Barang C: Barang-barang dengan jumlah fisik 40 sampai 60 persen, tetapi bernilai 10 sampai 20 persen dari nilai investasi tahunan.

Pengelompokkan dengan menggunakan metode ini akan membantu manajemen lebih fokus pada elemen-elemen yang bernilai tinggi (grup A) dan memberikan pengendalian yang cukup untuk elemen-elemen yang bernilai rendah (grup B atau C).

### Material Requirement Planning (MRP)

Sistem MRP dikembangkan untuk membantu perusahaan manufaktur untuk membuat perencanaan kebutuhan akan item-item terikat (*dependen*) secara lebih baik dan efisien. Sistem ini dirancang untuk menentukan jumlah pesanan produksi dan pembelian untuk mengatur aliran bahan baku dan persediaan dalam proses sehingga sesuai dengan jadwal produksi untuk produk akhir. Tiga input yang dibutuhkan oleh sistem MRP, yaitu: 1) Jadwal induk produksi; 2) Catatan

keadaan persediaan atau daftar material: dan 3) Struktur produk. Output dari sistem MRP adalah berupa rencana pemesanan atau perencanaan produksi yang dibuat atas dasar *lead time*. Output dari sistem MRP dapat pula disebut sebagai suatu aksi yang merupakan tindakan pengendalian persediaan dan penjadwalan produksi.

Langkah-langkah dalam menganalisis data dengan prosedur MRP memiliki empat langkah utama yaitu: pertama, *Netting* adalah proses perhitungan untuk menetapkan jumlah kebutuhan bersih, yang besarnya merupakan selisih antara kebutuhan kotor dengan keadaan persediaan (ada dalam persediaan dan sedang dipesan). Kedua, *Lotting* adalah suatu proses untuk menentukan besarnya jumlah pesanan optimal untuk setiap *item* secara individual didasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan bersih yang telah dilakukan. Ketiga, *Offsetting* bertujuan untuk menentukan saat yang tepat untuk melakukan rencana pemesanan dalam rangka memenuhi kebutuhan bersih. Rencana pemesanan diperoleh dengan cara mengurangkan saat awal tersediannya ukuran *lot* yang diinginkan dengan besarnya *lead time*. Keempat, *Explosion* adalah proses perhitungan kebutuhan kotor untuk tingkat *item* atau komponen lebih bawah. Perhitungan kebutuhan kotor ini didasarkan pada rencana pemesanan *item-item* produk pada level yang lebih atas. Untuk perhitungan kebutuhan kotor ini, diperlukan struktur produk dan informasi mengenai jumlah kebutuhan tiap *item* untuk *item* yang akan dihitung. Dalam proses *explosion* ini, data mengenai struktur produk harus tersedia secara akurat. Ketidakakuratan data struktur produk mengakibatkan kesalahan pada perhitungan. Atas dasar struktur produk inilah proses *explosion* dibuat.

#### Algoritma Wagner-Within (AWW)

Metode Algoritma *Wagner Within* merupakan metode yang dapat memberikan nilai optimal untuk permasalahan *lot sizing* yang bersifat dinamis sesuai dengan horizon periode tertentu. Metode ini menggunakan pendekatan program dinamis untuk mencari solusi yang optimal (Tersine, 1994). Kelebihan algoritma *wagner within* dibandingkan dengan metode dinamis lainnya yaitu algoritma *wagner within* dapat memberikan solusi optimal, dimana metode *simple* seperti (*Fixed Period Demand (FPD)*, *Period Order Quantity (POQ)*, dan *Lot For Lot (LFL)*) perhitungannya tidak berdasarkan langsung pada optimisasi biaya. Metode *heutisric (Silver Meal (SM), Least Unit Cost (LUC), Part Period Balancing (PPB))* perhitungannya hanya berdasarkan pada mencapai solusi biaya minimum (terendah) namun tidak optimal. Kekurangan dari metode algoritma *wagner within* yaitu prosedur yang sedikit rumit dan membutuhkan banyak waktu dan usaha sehingga teknik ini jarang digunakan.

Langkah-langkah untuk Algoritma *Wagner Within* (Tersine, 1994) dengan kembangan model yang memperhatikan batasan kapasitas gudang:

1. Menghitung dan memeriksa batasan pada  $Q_{ce}$  bila pemesanan dilakukan pada periode  $c$  untuk memenuhi permintaan periode  $c$  sampai periode  $e$  tidak boleh melebihi kapasitas gudang.

$$Q_{ce} \leq \text{kapasitas gudang}$$

2. Hitung matriks total biaya variabel (biaya pesan dan biaya simpan) untuk seluruh alternatif pemesanan di seluruh horizon perencanaan yang terdiri dari  $N$  periode (hasil dari langkah pertama). Definisikan  $Z_{ce}$  sebagai total biaya variabel (dari periode  $c$  sampai periode  $e$ ) bila pemesanan dilakukan pada periode  $c$  untuk memenuhi permintaan periode  $c$  sampai periode  $e$ . Rumusan  $Z_{ce}$  tersebut adalah sebagai berikut:

$$Z_{ce} = C + h \sum_{i=c}^e (Q_{ce} - Q_{ci}) \quad \text{untuk } 1 \leq c \leq e \leq N$$

dengan

$C$  = biaya pesan

$h$  = biaya simpan per unit per periode

$$Q_{ce} = \sum_{k=c}^e D_k$$

$D_k$  = permintaan pada periode  $k$

3. Definisikan  $f_e$  sebagai biaya minimum yang mungkin dalam periode 1 sampai periode  $e$  dengan asumsi tingkat persediaan di akhir periode  $e$  adalah nol. Algoritma mulai dengan  $f_0=0$  dan mulai menghitung secara berurutan  $f_1, f_2, \dots, f_N$ . Nilai  $f_N$  adalah nilai biaya dari pemesanan optimal.

$$f_c = \text{Min} \{Z_{ce} + f_{c-1}\} \quad \text{untuk } c = 1, 2, \dots, e$$

4. Interpretasikan  $f_N$  menjadi ukuran lot dengan cara sebagai berikut:
  - a. Pemesanan terakhir dilakukan pada periode  $w$  untuk memenuhi permintaan dari periode  $w$  sampai periode  $N$ .  

$$f_N = Z_{wN} + f_{w-1}$$
  - b. Pemesanan sebelum pemesanan terakhir harus dilakukan pada periode  $v$  untuk memenuhi permintaan dari periode  $v$  sampai periode  $w-1$ .  

$$f_{w-1} = Z_{vw-1} + f_{v-1}$$
  - c. Pemesanan yang pertama harus dilakukan pada periode 1 untuk memenuhi permintaan dari periode 1 sampai periode  $u-1$   

$$f_{u-1} = Z_{1u-1} + f_0$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kapasitas Gudang Bahan Baku Kemas

PT XYZ Plant Pulogadung memiliki dua jenis gudang yaitu gudang *Incoming Material Control* (IMC) untuk penyimpanan bahan baku baik *raw material* maupun *packaging material*, dan gudang *Outcome Material Control* (OMC) untuk penyimpanan barang jadi (*finish good*). Pada penelitian kali ini berfokus pada gudang IMC *packaging material* (gudang bahan baku kemas). Gudang bahan baku kemas memiliki tempat penyimpanan yang berbeda untuk bahan baku kemas karton dan bahan baku kemas non karton (*foil, pack, dus*) sehingga perhitungan dilakukan secara terpisah.

Berdasarkan observasi yang telah dilakukan maka didapatkan hasil perhitungan kapasitas penyimpanan maksimal untuk material *foil, pack*, dan *dus* perhitungan kapasitas penyimpanan maksimal untuk material karton dapat dilihat. Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan merupakan kuantitas penyimpanan maksimum yang menjadi acuan pada *lot size* yang akan dipesan ke pemasok. Apabila kuantitas pemesanan berada di atas atau lebih dari kapasitas penyimpanan maksimum yang telah penulis sarankan, maka akan terjadi *overload* pada gudang.

### Penentuan Prioritas

Analisis ABC diperlukan untuk menentukan material atau bahan baku kemas yang memerlukan perhatian lebih sehingga tidak terjadi *stockout* maupun *overstock*. Perhitungan analisis ABC pada penelitian ini dilakukan secara terpisah antara bahan baku kemas karton dan bahan baku kemas non karton (*foil, pack, dus*) dikarenakan kapasitas gudang yang digunakan berbeda. Analisis ABC yang dilakukan pada persediaan bahan baku kemas pada penelitian kali ini terbagi menjadi dua tahapan. Tahapan pertama, material dikelompokkan berdasarkan material-material apa saja yang membutuhkan kapasitas gudang terbesar, dan tahapan kedua dikelompokkan berdasarkan penggunaan volume rupiah terbesar. Pengelompokan berdasarkan kebutuhan kapasitas gudang dikarenakan adanya kendala keterbatasan kapasitas gudang dibandingkan dengan kebutuhan akan bahan baku kemas yang tinggi.

Rekapitulasi hasil analisis ABC untuk material *foil, pack, dus* pada perhitungan tahap pertama (kapasitas gudang) terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis ABC *foil, pack, dus* tahap pertama (kapasitas gudang)

Kode Material	Kebutuhan 6 Bulan	UoM/ Palet	Keb Palet	% Volume kebutuhan	Kap Palet	Keterse-diaan Palet	% Kumulatif	Gol
1FM016060	1.384,966	6	39	5,89123867%	566	33,34	5,89123867%	A
:	:	:	:	:	:	:	:	:
2DK057010	2.788.069,621	22.500	21	3,17220544%	566	17,95	69,63746224%	A
4VK004030	3.767,712	48	14	2,11480363%	566	11,96	71,75226586%	B
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1WK009000	10.692	500	4	0,60422961%	566	3,41	89,87915408%	B
2DK052010	971.828	56.000	4	0,60422961%	566	3,42	90,48338369%	C
:	:	:	:	:	:	:	:	:
4VW003010	20	24	1	0,15105740%	566	0,85	100,00000000%	C

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Keterangan: UoM (*Stock Unit*)

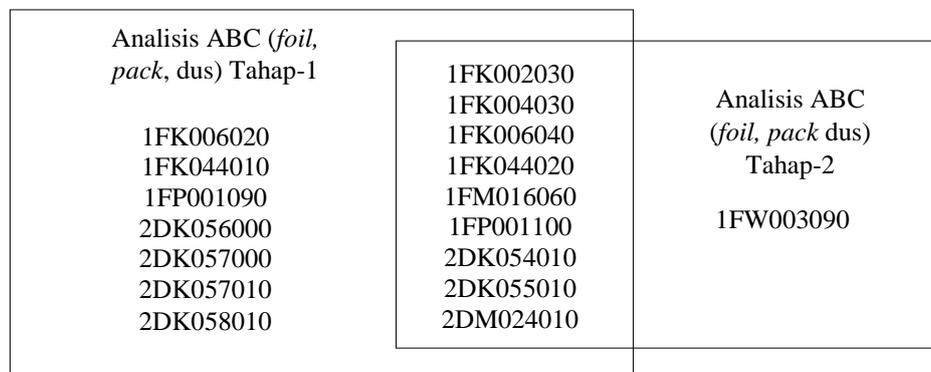
Berdasarkan Tabel 1, hasil dari analisis ABC untuk material *foil, pack, dus* pada perhitungan tahap pertama (kapasitas gudang) didapatkan material yang termasuk ke dalam golongan A sebanyak 16 material, yaitu 1FM016060, 2DK054010, 1FK004030, 2DK055010, 1FK002030M 2DM024010, 2DK056000, 1FK006020, 2DK057000, 1FK006040, 1FK044010, 1FP001090, 2DK058010, 1FK044020, 1FP001100, dan 2DK057010. Tahap selanjutnya yaitu analisis ABC tahap kedua untuk material *foil, pack, dus* (volume rupiah). Rekapitulasi hasil perhitungan analisis ABC tahap kedua (berdasarkan volume rupiah) untuk material *foil, pack, dus* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis ABC *foil, pack, dus* tahap kedua (volume rupiah)

Material Code	Kebutuhan 6 Bulan	Harga/UoM	Total	% Volume Rupiah	% Kumulatif	Gol
1FK004030	2.668,805	Rp. 3.050.000,00	Rp. 8.139.855.250,00	12,797920%	12,797920%	A
:	:	:	:	:	:	:
1FW003090	448	Rp. 3.666.150,01	Rp. 1.642.435.205,01	2,582325%	68,583545%	A
1FP001090	354	Rp. 4.075.000,00	Rp. 1.442.550.000,00	2,268055%	70,851600%	B
:	:	:	:	:	:	:
1FW003080	136	Rp. 3.666.150,01	Rp. 498.596.401,52	0,783920%	89,248820%	B
2DK053010	750.000	Rp649,99	Rp. 487.494.708,49	0,766465%	90,015286%	C
:	:	:	:	:	:	:
4VW003010	20	Rp. 248.500,00	Rp. 4.970.000,00	0,007814%	100,000000%	C

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Berdasarkan Tabel 2, hasil dari analisis ABC untuk material *foil, pack, dus* tahap kedua (volume rupiah), terdapat 10 material yang termasuk ke dalam golongan A, yaitu 1FK004030, 1FK002030, 1FM016060, 1FK006040, 1FK044020, 1FP001100, 2DM024010, 2DK054010, 2DK0055010, 1FW003090. Sehingga hasil golongan A dari analisis ABC untuk material *foil, pack, dus* merupakan irisan dari himpunan analisis ABC tahapan pertama dan kedua yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Hasil analisis ABC (*foil, pack, dus*)

Hasil akhir analisis ABC untuk material *foil, pack*, dus yang termasuk ke dalam golongan A berdasarkan irisan tahap pertama dan tahap kedua yang terdapat pada Gambar 2 adalah sebanyak sembilan material, yaitu 1FK002030, 1FK004030, 1FK006040, 1FK044020, 1FM016060, 1FP001100, 2DM24010, 2DK054010, dan 2DK055010. Perhitungan analisis ABC selanjutnya dilakukan untuk material karton. Perhitungan dan hasil analisis ABC untuk material karton tahap pertama (kapasitas gudang) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis ABC karton tahap pertama (kapasitas gudang)

Material Code	Kebutuhan 6 Bulan	UoM/ Palet	Keb Palet	% Volume kebutuhan	Kap Palet	Ketersediaan Palet	% Kumulatif	Gol
3MK042000	351.166,782	600	98	43,17181%	173	74,68	43,171806%	A
3MM011020	367.806,981	1.000	62	27,31278%	173	47,25	70,484581%	A
3MP002010	44.200	800	10	4,40529%	173	7,62	74,889868%	A
3MK003010	22.237,6	480	8	3,52423%	173	6,09	78,414097%	A
3MK025030	12.450	400	7	3,08370%	173	5,33	81,497797%	B
3MK035000	41.445	1.000	7	3,08370%	173	5,33	84,581498%	B
3MM018000	9.728,765	800	7	3,08370%	173	5,33	87,665198%	B
3MP013020	12.516	1.000	7	3,08370%	173	5,33	90,748899%	C
3MK041000	29.597,374	1.000	5	2,20264%	173	3,81	92,951542%	C
3MW001030	17.812	600	5	2,20264%	173	3,81	95,154185%	C
3ME021020	2.133,09	480	3	1,32159%	173	2,28	96,475771%	C
3MK036000	17.514	1.000	3	1,32159%	173	2,28	97,797357%	C
3MP011020	9.046,42	1.000	3	1,32159%	173	2,28	99,118943%	C
3MP010010	1.470	300	2	0,88106%	173	1,52	100,000000%	C

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

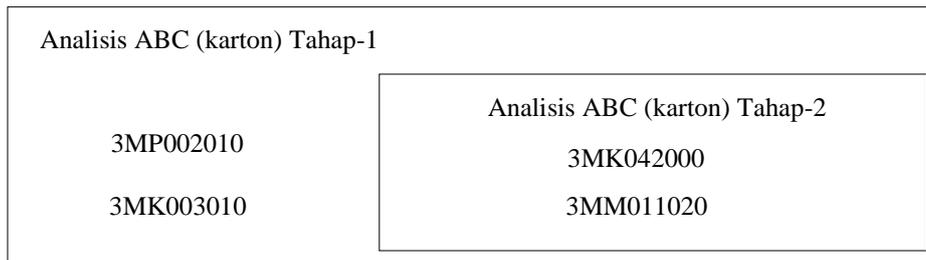
Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil analisis ABC untuk material karton tahap pertama (kapasitas gudang) didapatkan empat material yang termasuk ke dalam golongan A, yaitu material 3MK042000, 3MM011020, 3MP002010, dan 3MK003010. Tahap selanjutnya yaitu perhitungan analisis ABC untuk material karton tahap kedua (volume rupiah) yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis ABC karton tahap kedua (volume rupiah)

Material Code	Kebutuhan 6 Bulan	Harga/UoM	Total	% Volume	% Kumulatif	Gol
3MK042000	351.166,782	Rp. 5.960,06	Rp. 2.092.975.981,50	53,053247%	53,053247%	A
3MM011020	367.806,981	Rp. 2.878,58	Rp. 1.058.761.858,29	26,837744%	79,890991%	A
3MP002010	44.200	Rp. 3.322,61	Rp. 146.859.221,53	3,722622%	83,613613%	B
3MK003010	22.237,6	Rp. 6.464,94	Rp. 143.764.694,24	3,644181%	87,257795%	B
3MK035000	41.445	Rp. 2.709,38	Rp. 112.290.328,69	2,846362%	90,104156%	C
3MW001030	17.812	Rp. 4.618,26	Rp. 82.260.448,65	2,085157%	92,189313%	C
3MK041000	29.597,374	Rp. 2.740,00	Rp. 81.096.804,76	2,055661%	94,244974%	C
3MK025030	12.450	Rp. 5.893,31	Rp. 73.371.703,67	1,859843%	96,104817%	C
3MK036000	17.514	Rp. 2.917,66	Rp. 51.099.959,67	1,295294%	97,400111%	C
3MM018000	9.728,765	Rp. 3.482,19	Rp. 33.877.385,99	0,858732%	98,258843%	C
3MP011020	9.046,42	Rp. 3.325,89	Rp. 30.087.441,66	0,762664%	99,021507%	C
3MP013020	12.516	Rp. 1.753,03	Rp. 21.940.943,79	0,556164%	99,577671%	C
3MP010010	1.470	Rp. 6.150,00	Rp. 9.040.500,00	0,229161%	99,806832%	C
3ME021020	2.133,09	Rp. 3.572,56	Rp. 7.620.584,56	0,193168%	100,000000%	C

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Tabel 4 menunjukkan hasil analisis ABC untuk material karton tahap kedua (volume rupiah) terdapat 2 (dua) material yang termasuk ke dalam golongan A yaitu material 3MK042000 dan 3MM011020. Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan hasil dari perhitungan analisis ABC untuk material karton tahap pertama (kapasitas gudang) dan kedua (volume rupiah) yang merupakan irisan dari hasil analisis ABC tahap pertama dan tahap kedua, yaitu material 3MK042000 dan 3MM011020 (dapat dilihat pada Gambar 3).



Gambar 2. Hasil analisis ABC (karton)

Material bahan kemas yang termasuk ke dalam golongan A tersebut merupakan material yang membutuhkan kapasitas gudang terbesar dan menghabiskan volume rupiah terbesar. Bahan baku kemas tersebut yang kemudian akan dibahas lebih mendalam dalam perhitungan untuk menentukan *lot size* pemesanan yang optimal yang akan menjadi input dalam MRP.

### Perencanaan MRP dan Penentuan *Lot Size* Optimal

Perencanaan kebutuhan bahan baku kemas dengan menggunakan MRP dibagi ke dalam beberapa tahapan yaitu, *netting*, *lotting*, dan *offsetting*. Pada langkah *netting* yaitu bahan baku kemas dihitung kebutuhan bersihnya (*net requirement*). *Net requirement* akan menjadi input pada tahap berikutnya, yaitu tahap *lotting*. Tahap *lotting* merupakan penentuan jumlah atau kuantitas pesanan (*lot size*) yang akan dipesan kepada pemasok. Teknik dan perhitungan kuantitas pesanan sering disebut dengan teknik *lot sizing*. Algoritma *Wagner Within* merupakan teknik *lot sizing* yang dapat menciptakan solusi yang optimal. Hasil yang didapatkan yaitu berupa kuantitas pesanan yang kemudian digunakan sebagai *input* untuk tahap *offsetting*. Selain kuantitas pesanan, *lead time* juga menjadi *input* yang sangat penting pada tahap *offsetting* karena akan menentukan kapan bahan baku kemas dipesan ke pemasok. Berikut adalah perencanaan MRP dan penentuan *lot size* optimal dengan algoritma *wagner within* untuk material 1FK002030 (perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh bahan baku kemas yang termasuk ke dalam golongan A).

### *Netting*

Langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan kebutuhan bersih (*netting*) untuk material 1FK002030. *Input* yang dibutuhkan pada langkah *netting* yaitu kebutuhan kotor (*gross requirement*), kedatangan yang terjadwal (*schedule receipt*), dan persediaan di tangan (*on hand*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan kotor 1FK002030

Periode	Kebutuhan Kotor ( <i>Roll</i> )	Kebutuhan Bersih ( <i>Roll</i> )
9	85,51	85,51
10	283,53	283,53
11	252,03	252,03
12	216,03	216,03
13	265,53	265,53
14	180,02	180,02
15	180,02	180,02
16	180,02	180,02
17	234,03	234,03
18	274,53	274,53
19	243,03	243,03
20	153,02	153,02

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Kebutuhan bersih yang dimasukkan ke dalam tabel MRP merupakan hasil dari perhitungan kebutuhan kotor – kedatangan terjadwal – persediaan di tangan. Hasil dari tahap *netting* dapat dilihat pada Tabel 6 dalam bentuk tabel MRP.

Tabel 6. *Netting 1FK002030*

Period	Nov-18		Des-18		Jan-18		Feb-18		Mar-18	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GR									85,51	283,53
SR									0	0
OH										
NR									85,51	283,53
POREC										
POREL										

Period	Apr-18		Mei-18		Jun-18		Jul-18		Agu-18	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
SR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OH										
NR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
POREC										
POREL										

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Keterangan :

- GR : *Gross Requirement*
- OH : *On Hand Stock*
- POREC : *Planned Order Receipt*
- SR : *Scheduled Receipt*
- NR : *Net Requirement*
- POREL : *Planned Order Releases*

#### **Lotting (Penentuan Lot Size Optimal dengan Metode Algoritma Wagner Within)**

Perhitungan kapasitas penyimpanan maksimal yang telah dilakukan menjadi acuan dalam menentukan jumlah kuantitas pemesanan yang akan dipesan, dimana pemesanan untuk setiap periode maupun periode gabungan tidak melebihi dari kapasitas penyimpanan maksimum yang telah ditentukan. Perhitungan dengan menggunakan algoritma *wagner within* akan menghasilkan *output* berupa berapa banyak material yang akan dipesan dan kapan pemesanan harus dilakukan, dimana *output* yang dihasilkan akan menciptakan solusi yang optimal.

*Input* yang dibutuhkan pada proses *lotting* yaitu jumlah kebutuhan bersih (*net requirement*) yang terdapat pada Tabel 6, biaya pesan, biaya simpan, dan kapasitas penyimpanan maksimal. Langkah-langkah perhitungan *lot sizing* dengan algoritma *wagner within* adalah sebagai berikut:

##### 1 Menghitung dan memeriksa batasan pada $Q_{ce}$

Tabel 7 menunjukkan jumlah kuantitas periode gabungan dimulai dari periode 9 sampai dengan periode 20. Pemeriksaan terhadap batasan pada  $Q_{ce}$  dilakukan bila pemesanan dilakukan pada periode  $c$  untuk memenuhi permintaan periode  $c$  sampai periode  $e$ , dimana kuantitas ( $Q_{ce}$ ) tidak boleh melebihi kapasitas gudang, yaitu 369 roll untuk material 1FK002030. Dengan demikian, perhitungan total biaya variabel dan perhitungan selanjutnya hanya akan dilakukan untuk  $Q_{ce}$  yang tidak melebihi kapasitas gudang ( $Q_{ce}$  yang tidak berwarna).

Tabel 7. Alternatif pemenuhan pesanan ( $Q_{ce}$ )

1FK002030	Permintaan											
	$e=9$	$e=10$	$e=11$	$e=12$	$e=13$	$e=14$	$e=15$	$e=16$	$e=17$	$e=18$	$e=19$	$e=20$
	85,51	283,53	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
c=9	85,51	369,04	621,07	837,10	1.102,63	1.282,65	1.462,67	1.642,69	1.876,72	2.151,25	2.394,28	2.547,30
c=10		283,53	535,56	751,59	1.017,12	1.197,14	1.377,16	1.557,18	1.791,21	2.065,74	2.308,77	2.461,79
c=11			252,03	468,06	733,59	913,61	1.093,63	1.273,65	1.507,68	1.782,21	2.025,24	2.178,26
c=12				216,03	481,56	661,58	841,6	1.021,62	1.255,65	1.530,18	1.773,21	1.926,23
c=13					265,53	445,55	625,57	805,59	1.039,62	1.314,15	1.557,18	1.710,2
c=14						180,02	360,04	540,06	774,09	1.048,62	1.291,65	1.444,67
c=15							180,02	360,04	594,07	868,6	1.111,63	1.264,65
c=16								180,02	414,05	688,58	931,61	1.084,63
c=17									234,03	508,56	751,59	904,61
c=18										274,53	517,56	670,58
c=19											243,03	396,05
c=20												153,02

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Berdasarkan Tabel 7, maka didapatkan  $Q_{ce}$  yang tidak melebihi kapasitas gudang yaitu  $Q_{99}, Q_{1010}, Q_{1111}, Q_{1212}, Q_{1313}, Q_{1414}, Q_{1415}, Q_{1515}, Q_{1516}, Q_{1616}, Q_{1717}, Q_{1818}, Q_{1919}$ , dan  $Q_{2020}$ . Hasil tersebut kemudian akan dilakukan ke langkah berikutnya yaitu menghitung total biaya variabel.

## 2 Menghitung total biaya variabel ( $Z_{ce}$ )

Hasil dari tahapan sebelumnya kemudian dihitung total biaya variabelnya, dimana membutuhkan input berupa biaya pesan dan biaya simpan. Biaya pesan untuk material 1FK002030 yaitu Rp. 30.000,00 per sekali pesan, dan biaya simpan untuk material 1FK002030 yaitu Rp. 3.059,30 per unit per periode. Berikut adalah perhitungan total biaya variabel untuk setiap  $Q_{ce}$  yang didefinisikan sebagai  $Z_{ce}$ .

$$Z_{99} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (85,51-85,51) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1010} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (283,53-283,53) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1111} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (252,03-252,03) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1212} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (216,03-216,03) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1313} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (265,53-265,53) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1414} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (180,02-180,02) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1415} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times ((360,04-180,02)+(180,02-180,02)) = \text{Rp. } 580.735,186$$

$$Z_{1515} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (180,02-180,02) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1516} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times ((360,04-180,02)+(180,02-180,02)) = \text{Rp. } 580.735,186$$

$$Z_{1616} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (180,02-180,02) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1717} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (234,03-234,03) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1818} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (274,53-274,53) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{1919} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (243,03-243,03) = \text{Rp. } 30.000,00$$

$$Z_{2020} = \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 3.059,30 \times (153,02-153,02) = \text{Rp. } 30.000,00$$

Hasil perhitungan untuk setiap  $Z_{ce}$  kemudian dimasukkan ke dalam Tabel sebelumnya menggantikan nilai  $Q_{ce}$ . Hasil dari langkah kedua dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi perhitungan total biaya variabel (Rupiah)

1FK002030	Permintaan											
	e=9	e=10	e=11	e=12	e=13	e=14	e=15	e=16	e=17	e=18	e=19	e=20
	85,51	283,53	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
Pemenuhan	c=9	30.000										
	c=10		30.000									
	c=11			30.000								
	c=12				30.000							
	c=13					30.000						
	c=14						30.000	580.735,19				
	c=15							30.000	580.735,19			
	c=16								30.000			
	c=17									30.000		
	c=18										30.000	
	c=19											30.000
	c=20											

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

### 3 Menghitung biaya minimum ( $f_e$ )

Langkah selanjutnya yaitu menghitung biaya minimum untuk setiap periode yang mungkin dalam periode 9 sampai dengan periode 20. Algoritma dimulai dengan  $f_8 = \text{Rp}0$  dan mulai menghitung secara berurutan  $f_9, f_{10}, f_{11}, \dots, f_{20}$ .

$$f_8 = \text{Rp}0$$

$$f_9 = \text{Min} \{Z_{99} + f_8\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 0\}$$

$$= \text{Rp. } 30.000,00 \text{ untuk } Z_{99} + f_8$$

$$f_{10} = \text{Min} \{Z_{1010} + f_9\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 30.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 60.000,00 \text{ untuk } Z_{1010} + f_9$$

$$f_{11} = \text{Min} \{Z_{1111} + f_{10}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 60.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 90.000,00 \text{ untuk } Z_{1111} + f_{10}$$

$$f_{12} = \text{Min} \{Z_{1212} + f_{11}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 90.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 120.000,00 \text{ untuk } Z_{1212} + f_{11}$$

$$f_{13} = \text{Min} \{Z_{1313} + f_{12}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 120.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 150.000,00 \text{ untuk } Z_{1313} + f_{12}$$

$$f_{14} = \text{Min} \{Z_{1414} + f_{13}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 150.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 180.000,00 \text{ untuk } Z_{1414} + f_{13}$$

$$f_{15} = \text{Min} \{Z_{1415} + f_{13}, Z_{1515} + f_{14}\}$$

$$= \text{Min} \{\text{Rp. } 580.735,19 + \text{Rp. } 150.000,00, \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 180.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 210.000,00 \text{ untuk } Z_{1515} + f_{14}$$

$$f_{16} = \text{Min} \{Z_{1516} + f_{14}, Z_{1616} + f_{15}\}$$

$$= \text{Min} \{\text{Rp. } 580.735,19 + \text{Rp. } 180.000,00, \text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 210.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 240.000,00 \text{ untuk } Z_{1616} + f_{15}$$

$$f_{17} = \text{Min} \{Z_{1717} + f_{16}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 240.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 270.000,00 \text{ untuk } Z_{1717} + f_{16}$$

$$f_{18} = \text{Min} \{Z_{1818} + f_{17}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 270.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 300.000,00 \text{ untuk } Z_{1818} + f_{17}$$

$$f_{19} = \text{Min} \{Z_{1919} + f_{18}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 300.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 330.000,00 \text{ untuk } Z_{1919} + f_{18}$$

$$f_{20} = \text{Min} \{Z_{2020} + f_{19}\} = \text{Min} \{\text{Rp. } 30.000,00 + \text{Rp. } 330.000,00\}$$

$$= \text{Rp. } 360.000,00 \text{ untuk } Z_{2020} + f_{19}$$

Hasil perhitungan untuk setiap  $f_e$  kemudian dimasukkan ke dalam Tabel 8 sebelumnya menggantikan nilai  $Z_{ce}$ . Nilai  $f_e$  terpilih merupakan nilai yang paling minimum dari semua alternatif pada setiap periodenya. Hasil dari langkah ketiga dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi perhitungan biaya minimum (Rupiah)

1FK002030	Permintaan											
	e=9	e=10	e=11	e=12	e=13	e=14	e=15	e=16	e=17	e=18	e=19	e=20
	85,51	283,53	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
Pemuhan	c=9	30.000										
	c=10		60.000									
	c=11			90.000								
	c=12				120.000							
	c=13					150.000						
	c=14						180.000	730.735,19				
	c=15							210.000	730.735,19			
	c=16								240.000			
	c=17									270.000		
	c=19										300.000	
	c=19											330.000
c=20												360.000
$f_e$	30.000	60.000	90.000	120.000	150.000	180.000	210.000	240.000	270.000	300.000	330.000	360.000

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

4 Mendefinisikan  $f_e$  menjadi *lot size* optimal

Hasil perhitungan biaya minimum material 1FK002030 berdasarkan Tabel 10 menunjukkan bahwa solusi optimal dengan biaya Rp. 360.000,00 untuk  $Z_{2020} + f_{19}$ . Detail pemesanan yang harus dilakukan untuk memenuhi permintaan pada periode tertentu, dijelaskan dalam Tabel 10.

Tabel 10. Banyaknya pesanan per periode

Periode	Banyaknya Pemesanan (Roll)
9	85,51
10	283,53
11	252,03
12	216,03
13	265,53
14	180,02
15	180,02
16	180,02
17	234,03
18	274,53
19	234,03
20	153,02

Hasil proses perhitungan *lot size* algoritma *wagner wihtin* kemudian dimasukkan ke dalam tabel MRP sebagai *Purchase Order Requisition*. Tabel MRP hasil langkah *lotting* dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. *Lotting* 1FK002030

Period	Nov-18		Des-18		Jan-18		Feb-18		Mar-18	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GR									85,51	283,53
SR									0	0
OH									0	0
NR									85,51	283,53
POREC									85,51	283,53
POREL										
Period	Apr-18		Mei-18		Jun-18		Jul-18		Agu-18	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
SR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
POREC	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
POREL										

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

### Offsetting

*Offsetting* merupakan langkah yang bertujuan untuk menentukan kapan kuantitas pemesanan (*lot size*) hasil proses *lotting* harus dilakukan. *Input* yang dibutuhkan untuk tahap *offsetting* yaitu *lead time* (waktu tunggu) dari pemesanan dilakukan hingga material siap untuk digunakan. *Lead time* untuk material 1FK002030 yaitu 100 hari (8 periode). Hasil dari tahap *offsetting* dapat dilihat pada Tabel 12 yang merupakan tabel hasil dari proses MRP dengan teknik algoritma *wagner within*.

Tabel 12. *Offsetting* dan hasil akhir MRP 1FK002030

Period	Nov-18		Des-18		Jan-18		Feb-18		Mar-18	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GR									85,51	283,53
SR									0	0
OH									0	0
NR									85,51	283,53
POREC									85,51	283,53
POREL	85,51	283,53	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53
Period	Apr-18		Mei-18		Jun-18		Jul-18		Agu-18	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
GR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
SR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
POREC	252,03	216,03	265,53	180,02	180,02	180,02	234,03	274,53	243,03	153,02
POREL	243,03	153,02								

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Berdasarkan perhitungan MRP dengan teknik *lot sizing* algoritma *wagner within*, maka total biaya yang dikerluarkan perusahaan untuk material 1FK002030 yaitu sebagai berikut:

Biaya pemesanan	= 12 x Rp. 30.000,00 = Rp. 360.000,00
Biaya simpan	= Biaya simpan OH + biaya simpan SS = Rp. 0 + Rp. 0 = Rp. 0
Biaya kekurangan	= <i>stockout</i> x 1% x nilai produk = 0 x 1% x Rp. 25.909,00 = Rp. 0
Biaya pembelian	= (85,51 + 283,53 + 252,03 + 216,02 + 265,53 + 180,02 + 180,02 + 180,02 + 234,03 + 274,53 + 234,03 + 153,02) x Rp. 3.050.000,00 = Rp. 7.769.240.600,00
Biaya persediaan	= Biaya pemesanan + biaya simpan + biaya kekurangan

Total biaya = Rp. 360.000,00 + Rp. 0 + Rp. 0 = Rp. 360.000,00  
 = Biaya pembelian + biaya persediaan  
 = Rp. 7.769.240.600,00 + Rp. 360.000,00 = Rp. 7.769.600.600,00

Langkah perhitungan yang sama juga dilakukan untuk seluruh bahan baku kemas yang termasuk ke dalam golongan A.

Berdasarkan perhitungan *lot size* dengan menggunakan metode program dinamis algoritma *wagner within* apabila dibandingkan dengan metode yang saat ini dilakukan perusahaan memiliki beberapa keuntungan, diantaranya:

1. Meminimumkan jumlah persediaan

Penggunaan *lot size* berdasarkan metode algoritma *wagner within* akan meminimumkan jumlah persediaan (*on hand*) yang ada di perusahaan, karena material dipesan sesuai dengan jumlah kebutuhannya. Sedangkan kondisi saat ini di perusahaan yaitu memiliki banyak persediaan (*on hand*) karena pemesanan dilakukan melebihi jumlah yang dibutuhkan. Hal tersebut juga serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Basuki (2016) dimana ukuran lot pemesanan sama dengan jumlah permintaan dan dalam pemesanan dilakukan rutin sesuai dengan periode kebutuhan, sehingga pada penelitian tersebut tidak memiliki persediaan (*on hand* adalah 0). Theresia dan Salomon (2015) melakukan penelitian serupa dengan yang penulis lakukan dan mendapatkan hasil *on hand* untuk seluruh material yang diteliti adalah 0.

2. Meminimumkan biaya persediaan

Penggunaan *lot size* algoritma *wagner within* akan berdampak pada rendahnya persediaan di gudang (nilai *on hand* adalah 0) sehingga tidak akan menimbulkan biaya persediaan. Bila dibandingkan dengan kondisi saat ini diperusahaan ada banyak persediaan di dalam gudang sehingga menimbulkan biaya penyimpanan yang cukup tinggi. Biaya persediaan merupakan implikasi dari jumlah persediaan. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayati, Damayanti, dan Santosa (2015) menjelaskan bahwa metode algoritma dapat meminimumkan jumlah hingga 0 (nol) sehingga biaya simpan yang dikeluarkan adalah Rp.0 dan biaya persediaan yang dikeluarkan lebih kecil dibandingkan metode perusahaan.

3. Meningkatkan kesesuaian antara kuantitas pemesanan dan kebutuhan

Kuantitas pemesanan yang dilakukan dengan metode algoritma *wagner within* akan sesuai dengan kebutuhan, sehingga akan meminimalisir terjadinya kekurangan bahan (*stock out*) yang akan berdampak pada terhambatnya proses produksi bahkan akan berdampak pada gagalnya penjualan dan pendapatan yang akan didapatkan perusahaan. Pada kondisi saat ini di perusahaan, terdapat beberapa material yang tidak terpenuhi sehingga proses produksi untuk beberapa produk berhenti. Berhentinya proses produksi berdampak pada pemborosan tenaga kerja dan mesin yang menganggur. Metode yang diterapkan oleh perusahaan menunjukkan terdapat 9 (sembilan) dari 11 (sebelas) material yang termasuk pada golongan A yang mengalami *stock out* pada periode perencanaannya. Hal tersebut terjadi dikarenakan pemesanan yang dilakukan tidak sesuai dengan kebutuhan (kuantitas pemesanan dibawah kuantitas kebutuhan) dan terjadinya perubahan permintaan dari bagian *demand planning*. Penelitian yang dilakukan oleh Utama (2016) menunjukkan bahwa tidak terjadinya *stock out* pada perhitungan dengan algoritma *wagner within*, dikarenakan kuantitas pemesanan sesuai dengan kebutuhan sehingga kebutuhan dapat dipenuhi. Pada penelitian yang penulis lakukan, metode algoritma *wagner within* dapat meningkatkan kesesuaian antara kuantitas pemesanan dan kebutuhan. Metode algoritma *wagner within* hanya mengalami *stock out* pada 2 (dua) dari 11 (sebelas) material yang termasuk pada golongan A. Hal tersebut dikarenakan adanya kendala keterbatasan kapasitas penyimpanan maksimal pada gudang. Material yang mengalami *stock out* yaitu material 1FK044020 yang mengalami kekurangan persediaan pada periode 10 sebesar 27,01 roll dan material 1FP001100 yang mengalami kekurangan persediaan pada periode 13 sebesar 6 roll. Hal tersebut tentunya berdampak pada keluarnya biaya kegagalan penjualan yaitu sebesar Rp. 6.998,0209 untuk material 1FK044020 dan Rp. 297,3 untuk material 1FP001100. Perbandingan *stock out* metode perusahaan dengan metode

algoritma *wagner within* dapat dilihat pada Tabel 13. Hal tersebut dapat diatasi dengan menggabungkan kuantitas sisa dengan kuantitas pesan pada periode selanjutnya.

Tabel 13. Perbandingan *stock out*

Material	Perusahaan		<i>Wagner Within</i>	
	Kuantitas (UoM)	Biaya	Kuantitas (UoM)	Biaya
1FK002030	88,8	Rp. 23.007,2	0	Rp. 0
1FK004030	291,3	Rp. 75.472,9	0	Rp. 0
1FK006040	1 057,83	Rp. 274.073,2	0	Rp. 0
1FK044020	14,51	Rp. 3.759,4	27,01	Rp. 6.998
1FM016060	15,58	Rp. 2.492,8	0	Rp. 0
1FP001100	0	Rp. 0	6	Rp. 297,3
2DK054010	399.812,83	Rp. 103.587.506,1	0	Rp. 0
2DK055010	208.653,67	Rp. 54.060.079,4	0	Rp. 0
2DM024010	0	Rp0	0	Rp. 0
3MK042000	13.123,58	Rp. 3.400.188,3	0	Rp. 0
3MM011020	352.278,87	Rp. 56.364.619,2	0	Rp. 0
Total	-	Rp. 217.791.198,5	-	Rp. 7.295,3

Sumber: Data diolah (2018)

Tabel 13 menunjukkan bahwa metode *algoritma wagner within* dapat meningkatkan kesesuaian antara pemesanan dan kebutuhan sehingga akan meminimalisir terjadinya *stock out* yang akan menimbulkan biaya kekurangan (*stock out cost*) yang berupa biaya kegagalan penjualan. Biaya kegagalan penjualan diasumsikan 1 persen dari harga jual produk akhir. Metode algoritma *wagner within* dapat meminimalisir biaya *stock out* sebesar Rp. 217.783 903,2 atau sebesar 99,9 persen dari biaya *stock out* yang ditimbulkan perusahaan.

#### 4. Mencegah terjadinya *overload* pada gudang

Kuantitas pemesanan (*lot size*) dengan menggunakan metode algoritma *wagner within* yang dikembangkan dengan adanya keterbatasan kapasitas gudang akan mencegah terjadinya *overload* pada gudang karena kuantitas telah disesuaikan dengan batasan tersebut. Penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan adanya pengembangan model berupa batasan kapasitas gudang menjelaskan secara tidak langsung bahwa kuantitas pemesanan tidak akan melebihi kuantitas penyimpanan maksimal pada gudang (kapasitas gudang) sehingga tidak akan terjadinya *overload* pada gudang.

### Perbandingan Total Biaya

Berdasarkan metode algoritma *wagner within* didapatkan total biaya untuk masing-masing material dibandingkan dengan total biaya yang dikeluarkan perusahaan. Total biaya didapatkan dari biaya pembelian dan biaya persediaan yang terdiri dari biaya pemesanan dan biaya simpan. Berikut adalah hasil perhitungan dari material yang termasuk ke dalam golongan A dan dibandingkan dengan metode perhitungan perusahaan (dapat dilihat pada Tabel 14).

Tabel 14. Perbandingan biaya

Material	Perusahaan	<i>Wagner Within</i>	Efisiensi (%)
1FK002030	Rp. 8.006.504.056,11	Rp. 7.769.600.600,00	2,96
1FK004030	Rp. 8.360.845.448,24	Rp. 8.140.215.250,00	2,64
1FK006040	Rp. 4.478.337.431,47	Rp. 4.905.312.050,00	-9,53
1FK044020	Rp. 4.752.791.048,62	Rp. 4.722.264.148,02	0,64
1FM016060	Rp. 6.571.266.814,47	Rp. 6.538.744.050,00	0,49
1FP001100	Rp. 3.630.492.929,33	Rp. 3.447.720.297,30	5,03
2DK054010	Rp. 2.261.278.795,06	Rp. 2.014696.185,79	10,90
2DK055010	Rp. 2.038.551.431,41	Rp. 1.922.981.046,89	5,67
2DM024010	Rp. 2.365.432.605,65	Rp. 2.320.845.062,10	1,88
3MK042000	Rp. 2.047.766.942,36	Rp. 1.988.409.128,22	2,90
3MM011020	Rp. 891.642.397,00	Rp. 1.059.091.858,29	-18,78
Total	Rp. 45.404.909.899,70	Rp. 44.829.879.676,60	1,27

Sumber: Data diolah (PT XYZ)

Berdasarkan Tabel 14, besarnya selisih biaya yaitu Rp. 575.030.223,10 (1,27 persen). Selisih biaya merupakan efisiensi yang dapat didapatkan perusahaan apabila menerapkan MRP dengan algoritma *Wagner Within*. Efisiensi biaya tersebut disebabkan karena jumlah pesan yang dilakukan dengan metode algoritma *Wagner Within* lebih sedikit dibandingkan dengan yang dilakukan oleh perusahaan saat ini. Selain jumlah pesan, efisiensi biaya juga dipengaruhi oleh jumlah kuantitas pesan. Perusahaan saat ini melakukan pemesanan sering kali berlebih (di atas jumlah yang dibutuhkan) dan kurang (di bawah jumlah yang dibutuhkan). Kelebihan pemesanan yang dilakukan menyebabkan timbulnya biaya persediaan yang tinggi, bila dibandingkan dengan metode algoritma *Wagner Within* yang tidak memiliki *on hand* sehingga tidak menimbulkan biaya simpan sehingga mengurangi biaya persediaan (terkecuali untuk material yang memiliki *lot size* pemesanan periode gabungan). Biaya pembelian juga sangat mempengaruhi total biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan karena jumlah kuantitas pesan berbanding lurus dengan total biaya. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Katias dan Affandi (2018) yang menunjukkan bahwa dengan metode analisis *Wagner Within* biaya total persediaan menjadi lebih efisien. Selain itu, dari hasil penelitian. Madinah *et al.* (2015) dalam hasil penelitiannya juga menemukan bahwa penggunaan metode *Wagner Within* dapat meminimasi biaya yang dikeluarkan perusahaan dari segi biaya persediaan.

Selain dari segi biaya, metode algoritma *Wagner Within* dengan pengembangan model batasan kapasitas penyimpanan gudang juga akan berdampak pada kondisi gudang penyimpanan serta berdampak pada penanganan bahan yang baik. Material dapat diletakkan pada tempat yang semestinya dengan ketentuan yang semestinya. Penanganan bahan yang baik akan meminimalisir peluang rusaknya material dan juga meminimalisir peluang terjadinya kecelakaan kerja.

## KESIMPULAN

Kuantitas pemesanan (*lot size*) optimum dengan metode algoritma *Wagner Within* yang memperhatikan adanya kendala keterbatasan kapasitas penyimpanan maksimal gudang bahan baku kemas dapat diperhatikan unsur *constraint* berupa kapasitas penyimpanan maksimal yang telah dianalisis oleh penulis ke dalam sistem Oracle-ASCPnya dan melakukan perubahan dalam sistem dengan metode algoritma *Wagner Within*. Hasil yang didapat dari sistem yang telah menerapkan *constraint* dan algoritma *Wagner Within* pada sistemnya akan berdampak pada: (1) Kondisi gudang bahan baku kemas yang baik dan rapi dimana tidak akan terjadi *overload* pada gudang, karena pemesanan sudah disesuaikan dengan kapasitas penyimpanan maksimal untuk setiap bahan baku kemas yang sudah ditentukan; (2) Material memiliki ruang tersendiri yang sesuai saat material yang dipesan datang, sehingga tidak akan mengganggu aktivitas operasional gudang pada saat proses *loading unloading* material, serta mengurangi penumpukan material yang berlebihan, mutu material dapat terjaga, dan dapat mengurangi risiko terjadi kecelakaan kerja; (3) Proses produksi dapat berjalan sesuai dengan rencana, karna *lot size* dengan algoritma *Wagner Within* meminimalisir terjadinya *stockout*; dan 4) Perusahaan dapat melakukan penghematan karena *lot size* dengan algoritma *Wagner Within* menekan jumlah persediaan di tangan sampai dengan nol.

Penerapan algoritma *Wagner Within* pada PT XYZ dapat berdampak pada terciptanya kapasitas penyimpanan maksimal untuk setiap bahan baku kemas yang dibutuhkan oleh perusahaan selama periode perencanaan yang ditentukan berdasarkan proporsi kebutuhan selama periode perencanaan dan kapasitas gudang bahan baku kemas yang tersedia. Teknik *lot sizing* algoritma *Wagner Within* dengan adanya batasan kapasitas gudang juga telah menciptakan solusi kuantitas pemesanan (*lot size*) yang optimal untuk bahan baku kemas yang termasuk ke dalam golongan A. Teknik *lot sizing* algoritma *Wagner Within* dengan adanya batasan kapasitas gudang dapat menghemat pengeluaran perusahaan, meminimalisir terjadinya *overstock* dan *stockout* pada persediaan, mencegah terjadinya *overload* pada gudang penyimpanan bahan baku kemas, menciptakan *material handling* yang baik, dan dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basuki. (2016). Optimasi Ukuran Pemesanan Lot yang Ekonomis pada Permintaan Deterministik Dinamis Menggunakan Algoritma *Wagner Within*. *Industrial Engineering Journal*, 5(1), 29-34. Doi: <https://doi.org/10.53912/iejm.v5i1.148>.
- Buschkuhl, L. Sahling, F. Helber, S., & Tempelmeier, H. (2008). Dynamic Capacitated Lot-sizing Problems : A Classification and Review of Solution Approaches. *OR Spectrum*, 32, 231-261.
- Dixon, P. S., & Poh, C. Y. (2007). Heuristic Procedures for Multi-Item Inventory Planning with Limited Storage. *IIE Transactions*, 22(2), 112-123.
- Eisenhut, P. S. (2007). A Dynamic Lot Sizing Algorithm with Capacity Constraints. *AIIE Transactions*, 7(2), 170-176.
- Eunike, A., Herdianto, B., & Setyanto, N. W. (2017). Perencanaan Kebutuhan Bahan Baku dengan Validasi Capacity Requirement Planning (CRP) pada Perusahaan Rokok Sigaret Keretek Mesin (SKM). *Prosiding SNTI dan SATELIT*, 114-120.
- Hartini, S., & Larasati I. (2009). Pengendalian Persediaan menggunakan Pendekatan Dynamic Inventory dengan mempertimbangkan Ketidakpastian Permintaan, Yield, dan Leadtime. *J@TI Undip*, 4(3), 179-188.
- Hidayati, N., Damayanti, D., & Santoso, B. (2015). Perencanaan Pengadaan Material untuk Meminimasi Total Biaya Persediaan dengan Metode *Material Requirement Planning* (MRP) (Studi Kasus: PT Citramas Heavy Industries). *eProceeding of Engineering*, 2(3).
- Jans, R., & Degraeve, Z., (2006). Meta-heuristics for Dynamic Lot Sizing: A Review and Comparison of Solution Approaches. *European Journal of Operational Research*, 177, 1855-1875.
- Katias, P., & Affandi, A. (2018). Implementasi Algoritma *Wagner Within* pada Manajemen *Inventory* di PT X. *Business of Finance Journal*, 3(1), 63-76.
- Kusrini, E. (2005). Sistem Persediaan Multi Item dengan Kendala Investasi dan Luas Gudang. *Jurnal TEKNOIN*, 10(2), 95-103.
- Madinah, W. N., Sumantri, Y., & Azlia, W. (2015). Penentuan Metode Lot Sizing pada Perencanaan Pengadaan Bahan Baku Kikir dan Mata Bor. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 3(3), 505-515.
- Mbota, H. K. W., Tantrika, C. F. M., & Eunike, A. (2016). Perencanaan Persediaan Bahan Baku dan Bahan Bakar dengan Dynamic Lot Sizing (Studi Kasus: PT Holcim Indonesia Tbk, Tuban Plant). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 3(1), 178-188.
- Nasution, H., & Situmorang, M. I. F. (2015). Analisis Pengendalian Persediaan Produk untuk Meminimumkan Biaya Persediaan dengan Algoritma *Wagner-Within*. *Jurnal Karismatika*, 1(3), 61-71.
- Nurhasanah., Hidayat, N., Listianingsih, S., Agustini, A. P., Haidar, D. U., & Hasanati, F. Z. N. (2014). Perencanaan Sistem Persediaan Bahan Baku Industri Garmen di PT.DM. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 13(2), 589-617.
- Putri, P., Santoso, P., & Sari, R. (2014). Perencanaan Persediaan Bahan Baku Herbisida Menggunakan Metode Silver Meal dengan Memperhatikan Kapasitas Gudang (Studi Kasus di PT X, Gresik). *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, 2(2). 418-427.
- Rahmayanti, D., & Fauzan, A. (2013). Optimalisasi Sistem Persediaan Bahan Baku Karet Mentah (Lateks) dengan Metode Lot Sizing (Studi Kasus: PT Abaisat Raya). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12(1), 317-325.
- Sari, D. H., & Budiawan, W. B. (2015). Analisis Penerapan Material Requirement Planning (MRP) dengan mempertimbangkan Lot Sizing dalam Pengendalian Persediaan Kebutuhan Bahan Baku Xoly untuk Pembuatan ALKYD 9337 pada PT. PJC. *Industrial Engineering Online Journal*, 6(1).
- Sari, R. W., Damayanti, D. D., & Santosa, B. (2017). Perencanaan Persediaan seluruh Produk Kategori Dry Food dengan Pendekatan Metode Probabilistik Continuous Review (S,S)

- System di Gudang Retail PT XYZ Bandung. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 3(3), 1-8.
- Setiawan, A., & Hayati, E. N. (2012). Pengendalian Persediaan Barang Jadi Multi Item dengan Metode Lagrange Multiplier (Studi Kasus pada Depo Es Krim Perusahaan “X” di Magelang). *Prosiding SNST ke-3*, 58-63.
- Sipper, D., & Bulfin, R. (1998). *Production: Planning, Control, and Integration*. Singapore: MCGraw-Hill Companies, Inc.
- Tersine, R. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management Fourth Edition*. New Jersey: PTR Prentice\_Hall, Inc.
- Theresia, P., & Salomon, L. (2015). Usulan Penerapan Material Requirement Planning (MRP) untuk Pengendalian Persediaan Bahan Baku Produk Art Ink (Studi Kasus: CV Sinar Mutiara). *Jurnal Kajian Teknologi*, 11(1).
- Ullah, H., & Parveen, S. (2010). A Literature Review on Inventory Lot Sizing Problems. *Global Journal of Researchers in Engineering*, 10(5), 21-36.
- Utama, D. M. (2016). Penentuan *Lot Size* Pemesanan Bahan Baku dengan Batasan Kapasitas Gudang. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 15(1), 64-68.
- Utama, D. M. (2017). Model Penentuan Lot Pemesanan dengan Mempertimbangkan Unit Diskon dan Batasan Kapasitas Gudang dengan Program Dinamis. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 94-102.
- Wahyuni, A., & Syaichu, A. (2015). Perencanaan Persediaan Bahan Baku dengan Menggunakan Metode Material Requirement Planning (MRP) Produk Kacang Shanghai pada Perusahaan Gangsar Ngunut-Tulungagung. *Jurnal Teknik Spektrum Industri*, 13(2), 115-228.