

**RANCANG ULANG GUDANG BARANG JADI YANG EFEKTIF DAN EFISIEN
DALAM ERA INDUSTRY 4.0
STUDI KASUS: GUDANG PADA INDUSTRI ALAS KAKI**

Setiyo Puji Muswantoro¹⁾ , Kartiko Eko Putranto²⁾

¹⁾ Mahasiswa Magister Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

²⁾ Dosen Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

¹⁾setiyopm@gmail.com; ²⁾putranto.kartiko@gmail.com

ABSTRAK

Pada tesis ini meneliti dan menganalisa gudang pada PT. XYZ sehingga menemukan permasalahan yang dihadapi dan merancang ulang gudang dengan mengimplementasikan teknologi 4.0. Untuk mencapai hal tersebut, pada tesis ini menggunakan pendekatan dan komparasi teknologi pergudangan yang ada, kemudian disesuaikan dengan kondisi dan kemampuan perusahaan. Terdapat empat teknologi yang dianggap mampu menjawab permasalahan ini, yaitu gudang dengan sistem AS/RS, AS/RS + BS, VNAR, VNAR + BS. Pada tesis ini menggunakan perhitungan VSM (Visual Stream Mapping) untuk analisa waste. Sedangkan untuk analisa sistem gudang menggunakan ARC (Analisa Relationship Chart) dan SLP (Systemic Layout Planning). Dari penelitian diketahui permasalahan data dan informasi saat ini sebesar 36%. Dari hasil penelitian ini, menyarankan rancang ulang gudang dengan sistem AS/RS karena bisa full FIFO dan akurasi data meningkat. Kapasitas penyimpanan meningkat dari 31.680 karton menjadi 63.360 karton. Hasil efisiensi waktu yang diperoleh sebesar 2.037,7 detik.

Kata Kunci : Gudang, Industri 4.0, VSM, ARC, SLP, AS/RS, VNAR, BS, FIFO

ABSTRACT

This thesis examines and analyzes the warehouse at PT. XYZ so as to find the problems faced and redesign the warehouse by implementing 4.0 technology. To achieve this, this thesis uses an approach and comparison of existing warehousing technologies, then adjusted to the conditions and capabilities of the company. There are four technologies that are considered capable of answering this problem, namely warehouses with AS / RS, AS / RS + BS, VNAR, VNAR + BS systems. This thesis uses VSM (Visual Stream Mapping) calculations for waste analysis. Meanwhile, the warehouse system analysis uses ARC (Relationship Chart Analysis) and SLP (Systemic Layout Planning). From the research, it is known that the problem of data and information is currently 36%. From the results of this study, it is suggested to redesign the warehouse with the AS / RS system because it can be full FIFO and data accuracy increases. The storage capacity increased from 31,680 cartons to 63,360 cartons. The time efficiency results obtained were 2,037.7 seconds.

Keywords: Warehouse, Industry 4.0, VSM, ARC, SLP, AS / RS, VNAR, BS, FIFO

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sebuah perusahaan sangat dipengaruhi oleh lancarnya proses produksi. Pergerakan mulai dari bahan mentah, proses produksi, hingga barang jadi dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah gudang. Gudang dapat dianggap sebagai bagian dari sistem logistik yang berfungsi untuk menyimpan produk dan menyediakan informasi mengenai status serta kondisi persediaan yang disimpan. Gudang yang tidak dikelola dengan baik dapat mengakibatkan delay produksi, ketidakpuasan pelanggan dan penumpukan persediaan (Yerpude, 2018).

Pengelolaan gudang di perusahaan kelas dunia telah menerapkan prinsip Industri 4.0, misalnya perusahaan Amazon, yang mengimplementasikan *Internet of Things*, *Collaboration Robot*, *Automatic Storage And Retrieval System* (ASRS) (Taliaferro & Guenette, 2016). Dengan menerapkan teknologi Industri 4.0, gudang menjadi lebih efisien dan kinerjanya meningkat.

Di pasar global saat ini, perusahaan harus dapat mengirimkan produk tepat waktu dengan berbagai jenis dan jumlah permintaan.

PT. XYZ adalah produsen sepatu merk NIKE dengan kualitas internasional yang sangat memerlukan kelancaran dalam pendistribusian produknya. Selama ini penanganan gudang masih dilakukan secara manual. Rak penyimpanan belum tertata baik sehingga mengakibatkan berbagai kesulitan dalam hal pengambilan produk, identifikasi produk, penerapan sistem FIFO, dan *update* stok.

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Identifikasi rancangan dan teknologi gudang terkini.
2. Mengevaluasi rancangan dan teknologi yang diterapkan di gudang yang ada saat ini.
3. Mengidentifikasi kendala operasi gudang sebagai konsekuensi dari rancangan dan teknologi yang ada.
4. Merancang ulang gudang dengan memanfaatkan teknologi era Industri 4.0 agar lebih efektif dan efisien.

II. METODE PENELITIAN

Dalam konteks penelitian ini, identifikasi *gap* (celah permasalahan) dapat dilakukan dengan data tentang situasi gudang saat ini dengan bantuan kerangka kerja. Untuk setiap langkah dari kerangka desain gudang dapat menganalisis informasi internal yang tersedia saat ini. Dengan cara ini, langkah-langkah dimana terdapat celah informasi akan disorot. Kemudian, celah data ini dapat ditutup dengan mengumpulkan informasi yang kurang/hilang. Informasi ini diperoleh dengan menerapkan metode VSM (*Value Stream Mapping*).

Selama melakukan penelitian, penulis mengumpulkan banyak informasi, studi literatur dan wawasan tentang pergudangan. Selanjutnya akan menerapkan kerangka kerja pada studi kasus rancang ulang gudang pada PT. XYZ dengan menerapkan kerangka kerja langkah demi langkah. Desain gudang baru nantinya akan mengintegrasikan beberapa teknologi era industri 4.0.

Untuk merealisasikan tujuan, perlu melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

A. Menentukan Tujuan

Melalui observasi lapangan dan interview dengan para manajemen PT. XYZ, dapat diketahui visi dan keinginan tentang proses logistik dan rantai pasokannya. Target yang diinginkan diantaranya adalah memuaskan pelanggan, meningkatkan proses kinerja operasional menjadi lebih baik, efektif dan efisien.

B. Desain Aliran Proses

Dalam penelitian ini untuk mengetahui desain aliran proses, digunakan metode VSM (*Value Stream Mapping*) dan *Work Sampling*.

C. Pemilihan Sistem Gudang

Pada langkah ini adalah dengan menentukan berbagai opsi sistem. Untuk setiap sistem akan dibahas deskripsi, MHE (*Material Handling Equipment*) yang diperlukan, manfaat dan kekurangannya. Sistem disusun dari yang paling sedikit keuntungannya sampai yang paling menguntungkan.

D. Tata Letak Sistem

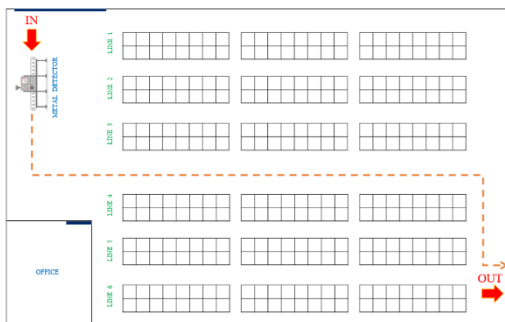
Langkah selanjutnya perlu dilakukan adalah tata letak sistem secara keseluruhan.

Dengan mengubah hubungan departemen menjadi diagram hubungan dan membuat representasi grafis dari aktivitas dan hubungan kedekatannya. Pertama-tama menggambar hubungan setiap departemen dengan relasi sehingga blok-blok ini terhubung. Dengan demikian hubungan tersebut dapat terlihat secara visual.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan membahas kondisi gudang PT. XYZ dengan mengolah data-data yang sudah diperoleh selama penelitian. Hasil dari olah data diharapkan mampu menjadi acuan perbaikan kondisi saat ini.

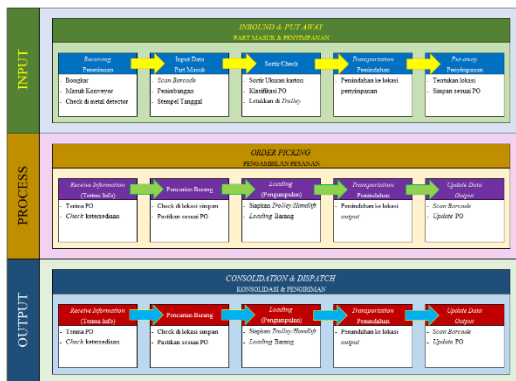
Gudang pada PT. XYZ termasuk jenis gudang distribusi, yang menjadi tempat mengumpulkan hasil produksi dan mendistribusikannya ke distributor/konsumen. Tata letak gudang pada PT. XYZ dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Layout Warehouse PT. XYZ (Sumber: PT.XYZ, 2020)

Aktivitas dan alur proses kerja gudang dapat digambarkan seperti tabel dibawah ini.

Table 1. Alur Proses Gudang PT. XYZ



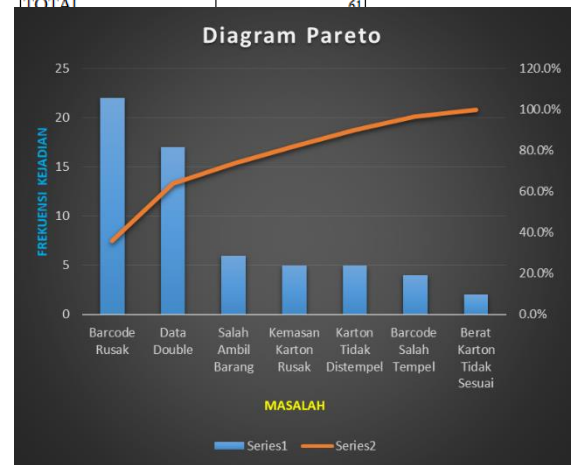
Dari tabel alur proses, dapat diketahui bahwa setiap produk *finish goods* yang masuk ke gudang, harus melewati metal detector, kemudian ditimbang dan *scan barcode*. PT.

XYZ mengandalkan sistem barcode sebagai identifikasi dan informasi.

Untuk kelebihan dan kekurangan dari penggunaan *barcode*, diantaranya yaitu mudah rusak dan mudah terjadi duplikasi. Dalam pengambilan data laporan masalah yang terjadi selama bulan Januari – Februari 2020, dapat dibuat tabel dan diagram pareto.

Table 2. Tabel Permasalahan Data

Masalah	Frekuensi Kejadian	Frek. Kumulatif	% Kumulatif
Barcode Rusak	22	22	36.1%
Data Double	17	39	63.9%
Salah Ambil Barang	6	45	73.8%
Kemasan Karton Rusak	5	50	82.0%
Karton Tidak Distempel	5	55	90.2%
Barcode Salah Tempel	4	59	96.7%
Berat Karton Tidak Sesuai	2	61	100.0%
TOTAL	61		



Gambar 2. Gambar Diagram Pareto (Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)

Dari diagram pareto, dapat diketahui dua permasalahan besar yang terjadi adalah barcode rusak dan data *double*.

Selanjutnya penulis mencoba mengolah dan menganalisa dari data-data yang diperoleh, terkait dengan jumlah barang dan kapasitas penyimpanannya. Dari observasi lapangan, dan bisa juga dilihat dari *layout* Gambar 1 bahwa gudang mempunyai 6 line penyimpanan. Kapasitas penyimpanan palet untuk masing-masing line adalah sebanyak 220 palet, sehingga total keseluruhan palet yang ada adalah 1320 palet. Dengan asumsi rata-rata tiap palet berisi 24 karton, maka jumlah total yang bisa disimpan dalam gudang adalah 31680 karton.

Dengan metode VSM (*Value Stream Mapping*) dan *Work Sampling*, selanjutnya penulis melakukan pengamatan meliputi alur proses kerja dan pencatatan waktu

kemudian melakukan uji kecukupan dan uji keseragaman data.

Table 3. Tabel Pengamatan Alur Kegiatan dan Waktu VSM-I

Uji Kecukupan Data													*) Satuan waktu : Detik	
Aktivitas : Penerimaan														
Pengamatan Ke-	Data Pengamatan (x)	x ²	\bar{x}	(x - \bar{x}) ²	$\Sigma(x - \bar{x})^2$	σ	BKA	BKB	Σx	$\Sigma (x)^2$	(Σx) ²	k	s	
1	164	26,896	158.7	28.44	385.3	5.2	169.2	148.2	2,380.0	378,012.0	5,664,400	2	0.10	
2	158	24,964	0.44											
3	162	26,244	11.11											
4	155	24,025	13.44											
5	152	23,104	44.44											
6	168	28,224	87.11											
7	155	24,025	13.44											
8	159	25,281	0.11											
9	160	25,600	1.78											
10	162	26,244	11.11											
11	166	27,556	53.78											
12	158	24,964	0.44											
13	159	25,281	0.11											
14	150	22,500	75.11											
15	152	23,104	44.44											

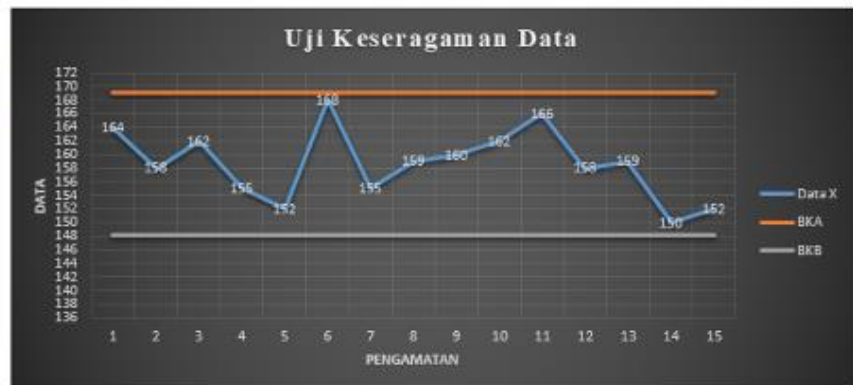
Jumlah (Σx)	2,380
(Σx) ²	5,664,400
$\Sigma (x)^2$	378,012
Tingkat Keyakinan k = 95%	2
Tingkat Ketelitian (s) = 10%	0.10
Jumlah Data (N)	15
k/s	20
N . $\Sigma (x)^2$	5,670,180
N . $\Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2$	5,780
$\sqrt{N . \Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2}$	76.03
k/s . $\sqrt{N . \Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2}$	1,520.53
k/s . $\sqrt{N . \Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2} / \Sigma x$	0.64
(k/s . $\sqrt{N . \Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2}$) ²	0.41

$$N' = \left[\frac{k / s \cdot \sqrt{N \cdot \Sigma (x)^2 - (\Sigma x)^2}}{\Sigma x} \right]^2$$

$$N' = \left[\frac{2 / 0.10 \cdot \sqrt{15 \cdot 378,012 - 5,664,400}}{2,380} \right]^2$$

N' = 0.41
N = 15
N' < N maka data dinyatakan cukup

Uji Keseragaman Data	
\bar{x}	158.7
$\Sigma(x - \bar{x})^2$	385.3
Standar deviasi (σ)	5.2
BKA	169.2
BKB	148.2



Hasil dari semua data pengamatan masih masuk dalam *range* antara BKA (Batas Kontrol Atas) dan BKB (Batas Kontrol Bawah), maka data tersebut dinyatakan *seragam*

Dari pengamatan alur kegiatan dan *sampling* waktu yang didapat, dibuat tabel untuk mempermudah melihat *Lead Time Process* pada VSM-I (Masuk dan Klasifikasi) seperti tabel dibawah ini:

Table 4. *Lead Time Process* pada VSM-I Masuk dan Klasifikasi

Dari Table 4 dapat diketahui ada tiga indikasi *waste*, yaitu jarak dari lokasi penerimaan menuju *office*, adanya waktu tunggu *trolley* karena *trolley* masih digunakan untuk memindahkan barang ke lokasi penyimpanan, adanya aktivitas mencari rak

kosong untuk menempatkan barang yang akan disimpan.

Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Penerimaan	158.7	-
Berjalan menuju <i>office</i>	-	116.4
Data <i>Incoming Parts</i>	53.0	-
Sortir/Check	185.3	-
Menunggu <i>Trolley</i>	-	513.9
Transportasi	123.5	-
Mencari rak kosong	-	133.0
Penyimpanan	16.8	-
Total Waktu (detik)	537.3	763.3

Untuk alur kegiatan dan waktu yang didapat pada VSM-II (Pengambilan Pesanan) dapat dibuat tabel untuk mempermudah melihat *Lead Time Process* seperti dibawah ini:

Table 5. Lead Time Process pada VSM-II Pengambilan Pesanan

Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Terima Info	13.3	-
Berjalan Menuju Rak	-	103.3
Pencarian Barang	763.1	-
Pengumpulan	187.3	-
Berjalan Menuju Office	-	116.6
Update Laporan/Data	122.9	-
Total Waktu (detik)	1086.6	219.9

Dari Table 5 dapat diketahui ada dua indikasi *waste*, yaitu perjalanan menuju rak penyimpanan dan adanya perjalanan menuju *office* untuk *update* data.

Untuk alur kegiatan dan waktu yang didapat pada VSM-III (Konsolidasi dan Pengiriman) dibuat tabel untuk mempermudah melihat *Lead Time Process*.

Table 6. Lead Time Process pada VSM-III Konsolidasi dan Pengiriman

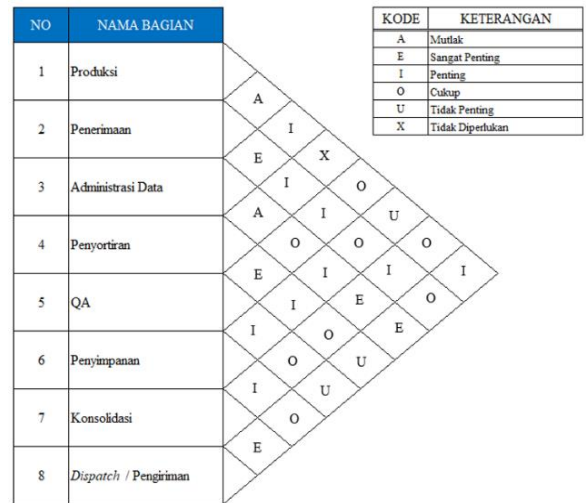
Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Terima Info	14.5	-
Konsolidasi	116.50	-
Check Ketersediaan Barang	52.9	-
Berjalan Menuju Office	-	116.90
Update Laporan/Data	123.2	-
Kembali Menuju Rak	-	103.60
Persiapan Kirim	17.2	-
Total Waktu (detik)	324.3	220.5

Dari **Table 6**, dapat diketahui ada dua indikasi *waste*, yaitu perjalanan menuju *office* dan adanya perjalanan menuju rak penyimpanan.

Selanjutnya penulis melakukan *Time Study* dan *Work Sampling*. Gudang ini mempunyai 62 *Man Power (operator)* dengan waktu kerja dimulai dari jam 07.00, istirahat 1 jam pada jam 12.00-13.00 kemudian dilanjutkan lagi sampai dengan jam 16.00. Pengambilan data dilakukan dengan *stopwatch*.

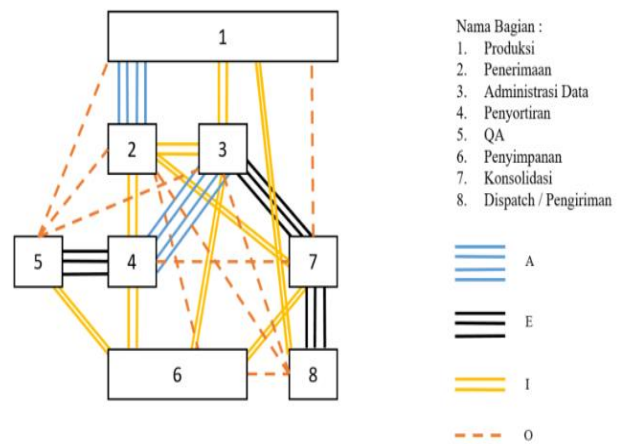
Langkah selanjutnya adalah mengenai tata letak sistem secara keseluruhan. Dengan mengubah hubungan departemen menjadi diagram hubungan dan membuat representasi grafis dari aktivitas dan hubungan kedekatannya.

Gambar 3. Relationship Chart antar Bagian pada



PT. XYZ

(Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)

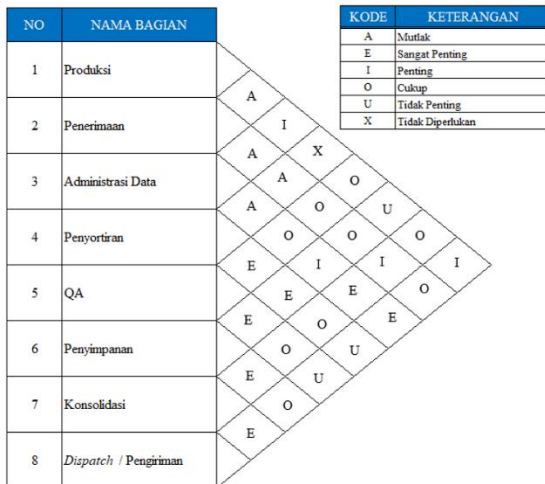


Gambar 4. Relationship Diagram antar Bagian PT. XYZ

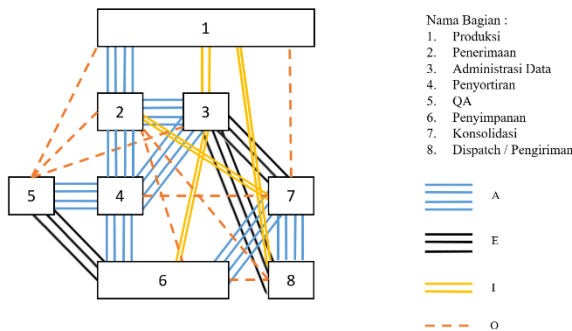
(Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)

Dengan kondisi saat ini, terdeteksi kurangnya wawasan mengenai peran pentingnya hubungan dan informasi dalam rantai pasokan. Kesadaran komunikasi yang rendah dan minimnya informasi, mengakibatkan banyak masalah, seperti: salah kirim, data tidak update, pengulangan proses, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, dari beberapa literatur, wawasan, dan observasi lapangan, maka dapat dibuat perbaikan. Hubungan antar bagian yang baru dapat digambarkan dibawah ini.



Gambar 5. Relationship Chart antar Bagian yang Disarankan
(Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)



Gambar 6. Relationship Diagram antar Bagian yang Disarankan
(Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)

Dengan perbaikan yang dilakukan, maka alur kegiatan dan waktu aktivitas dapat dipangkas. Selisih waktu kerja operator bisa dialihkan untuk melakukan pekerjaan lainnya.

Table 7. Lead Time Process pada VSM-I Masuk dan Klasifikasi (After)

Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Penerimaan	158.7	-
Berjalan menuju office	-	116.4
Data Incoming Parts	53.0	-
Sortir/Check	185.3	-
Menunggu Trolley	-	0
Transportasi	123.5	-
Mencari rak kosong	-	0
Penyimpanan	16.8	-
Total Waktu (detik)	537.3	116.4

Dari Table 7, dapat diketahui waste menunggu trolley dan mencari rak kosong dapat

dihilangkan. Efisiensi waktu yang diperoleh dari kondisi sebelumnya adalah sebesar 646.9 detik.

Untuk Lead time process pada VSM-II setelah perbaikan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Table 8. Lead Time Process pada VSM-II Pengambilan Pesanan (After)

Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Terima Info	13.3	-
Berjalan Menuju Rak	-	0
Pencarian Barang	0.0	-
Pengumpulan	0.0	-
Berjalan Menuju Office	-	0
Update Laporan/Data	122.9	-
Total Waktu (detik)	136.2	0.0

Dari Table 8, dapat diketahui waste (berjalan menuju rak dan berjalan menuju office) dapat dihilangkan. Efisiensi waktu yang diperoleh dari kondisi sebelumnya adalah sebesar 1.170,3 detik.

Untuk Lead time process pada VSM-III setelah perbaikan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Table 9. Lead Time Process pada VSM-III Konsolidasi dan Pengiriman (After)

Aktivitas Gudang	NVA Necessary	NVA Non Necessary
Terima Info	14.5	-
Konsolidasi	116.5	-
Check Ketersediaan Barang	52.9	-
Berjalan Menuju Office	0.0	0
Update Laporan/Data	123.2	-
Kembali Menuju Rak	0.0	0
Persiapan Kirim	17.2	-
Total Waktu (detik)	324.3	0.0

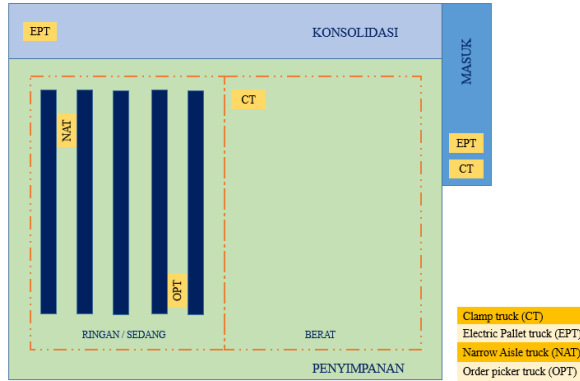
Dari Table 9, dapat diketahui waste (berjalan menuju office dan kembali menuju rak) dapat dihilangkan. Efisiensi waktu yang diperoleh dari kondisi sebelumnya adalah sebesar 220.5 detik.

Penulis akan menguraikan empat sistem peralatan gudang dan dua tata letak gudang secara keseluruhan dan mengumpulkan wawasan dalam bermacam-macam variasi dan perilakunya. Penulis akan menggabungkan data tersebut untuk memberikan desain gudang yang ideal bagi perusahaan. Selanjutnya kemungkinan kombinasi dari Equipment System (ES) dan tata letak akan dibahas. Dengan beberapa opsi pilihan, mulai dari biaya investasi tinggi dengan keuntungan besar hingga biaya investasi rendah namun masih bisa mendapatkan beberapa keuntungan.

Langkah berikutnya adalah menentukan berbagai opsi sistem. Untuk setiap sistem akan

dibahas deskripsi, MHE yang diperlukan, manfaat dan kekurangannya.

A. VNAR (*Very Narrow Aisle Pallet Racking*) untuk barang ringan / sedang + BS (*Block Stacking*) untuk barang berat



Gambar 7. Sistem Gudang Opsi VNAR + BS

Setelah barang diperiksa, barang ringan/sedang ditempatkan di rak sementara barang berat ditumpuk. Kedua jenis barang diambil dan dibawa oleh *picking truck* ke area konsolidasi. Operator mengkonsolidasikan palet untuk pengiriman.

Untuk MHE (*Material Handling Equipment*) yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Table 10. MHE untuk VNAR dan BS

MHE yang Dibutuhkan	Uraian
<i>Power lift truck – Clamp truck (CT)</i>	Bongkar barang-barang berat, simpan barang di area tumpukan blok, pilih barang di area tumpukan blok, transportasi ke konsolidasi
<i>Pallet jack - Electric Pallet truck (EPT)</i>	Bongkar barang ringan / sedang, angkut barang ringan / sedang diatas palet ke penyimpanan, angkut barang.
<i>Power lift truck – Narrow Aisle truck (NAT)</i>	Simpan item ringan / sedang pada palet di rak, pilih palet item berat atau palet full ringan / sedang
<i>Power lift truck – Order picker truck (OPT)</i>	Pilih item ringan / sedang, pindahkan ke area konsolidasi.
<i>AutoIdentification – RFID/Bar code scan</i>	Simpan dan tulis ulang data ditempat.

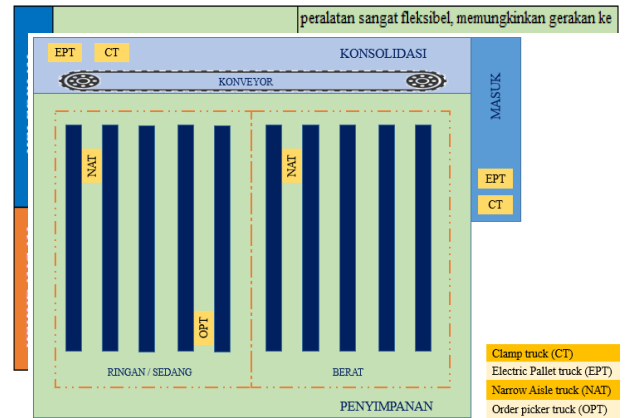
Table 11. Kelebihan dan Kekurangan Sistem VNAR + BS

B. VNAR (*Very Narrow Aisle Pallet Racking*) untuk barang ringan / sedang dan barang berat

Gambar 8. Sistem Gudang Opsi VNAR

Pada opsi VNAR adalah menyimpan setiap barang harus ditempatkan di palet agar dapat disimpan di rak. Di dalam bagian

penyimpanan dibedakan antara bagian barang berat dan bagian sedang/ringan. Pengambilan



diangkut dengan bantuan konveyor ke area konsolidasi untuk mengurangi jarak tenaga kerja.

Untuk MHE (*Material Handling Equipment*) yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

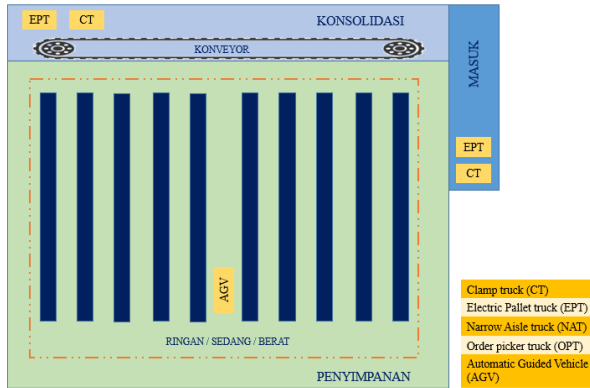
Table 12. MHE untuk VNAR

MHE yang Dibutuhkan	Uraian
<i>Power lift truck – Clamp truck (CT)</i>	<i>Unloading</i> barang berat, letakkan barang berat di palet masuk, letakkan barang berat di palet keluar
<i>Pallet jack - Electric Pallet truck (EPT)</i>	<i>Unloading</i> barang ringan / sedang, angkut barang ringan / sedang diatas palet ke penyimpanan
<i>Power lift truck – Narrow Aisle truck (NAT)</i>	Simpan palet di rak, pilih palet barang berat atau palet ringan / sedang
<i>Power lift truck – Order picker truck (OPT)</i>	Pilih item ringan / sedang.
<i>Conveyor</i>	Mengangkut dan menyortir palet dari penyimpanan ke area konsolidasi
<i>AutoIdentification – RFID/Bar code scan</i>	Simpan dan tulis ulang data ditempat.

Table 13. Kelebihan dan Kekurangan Sistem VNAR

KELEBIHAN	Sistem FIFO		
	Dapat diterapkan secara keseluruhan	Jarak yang jauh berkurang dengan adanya konveyor	
Jarak minimal	Jarak minimal	Jarak yang jauh berkurang dengan adanya konveyor, dan AGV bergerak otomatis ke lokasi barang	
Kesalahan minimal	Kesalahan minimal	RFID sangat akurat dan meningkatkan akurasi penyimpanan dan pengambilan	
Ergonomi maksimal	Ergonomi maksimal	Semua barang berat diangkut dengan MHE	
KEKURANGAN	Biaya variabel menurun	Biaya variabel berkurang	Beberapa aktivitas operator bisa ditangani oleh AGV
	Ruang tidak diminimalkan	Ruang tidak diminimalkan	Penggunaan rak menjadi lebih banyak
	Interaksi manusia kategori sedang	Interaksi manusia kategori sedang	Potensi terjadi human error
	Penanganan ekstra	Penanganan ekstra	Semua barang harus berada diatas palet
	Fleksibilitas kategori sedang	Fleksibilitas kategori sedang	Variabilitas gerakan berkurang

C. AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*) untuk barang ringan/ sedang dan barang berat.



Gambar 9. Sistem Gudang Opsi AS/RS

Pilihan berikutnya adalah menyimpan setiap barang, baik ringan/sedang sampai barang berat, ditempatkan diatas palet dan disimpan di rak dengan bantuan AGV (*Automatic Guided Vehicle*). Untuk memilih item, seluruh palet harus dikumpulkan oleh AGV, membawa palet ke area penyortiran meletakkan di konveyor menuju area konsolidasi. Di sini kombinasi item yang tepat tercapai, *forklift* menempatkan barang-barang berat di atas palet untuk konsolidasi dan tenaga kerja menempatkan barang-barang berbobot ringan/sedang.

Untuk MHE (*Material Handling Equipment*) yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Table 14. MHE untuk AS/RS

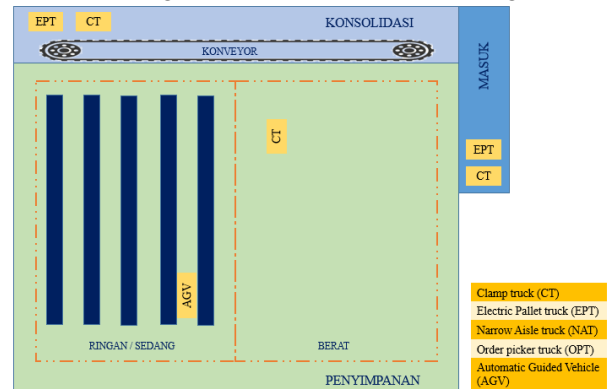
MHE yang Dibutuhkan	Uraian
<i>Power lift truck – Clamp truck (CT)</i>	<i>Unloading</i> barang berat, letakkan barang berat di palet masuk, letakkan barang berat di palet keluar
<i>Pallet jack - Electric Pallet truck (EPT)</i>	<i>Unloading</i> barang ringan / sedang, angkut barang ringan / sedang diatas palet ke penyimpanan
<i>Automatic Guide Vehicle (AGV)</i>	Simpan palet di rak, ambil palet, isi kembali
<i>Conveyor</i>	Mengangkut dan menyortir palet dari penyimpanan ke area konsolidasi
<i>AutoIdentification – RFID/Bar code scan</i>	Simpan dan tulis ulang data ditempat.

Table 15. Kelebihan dan Kekurangan Sistem AS/RS

D. AS/RS (*Automatic Storage and Retrieval System*) untuk barang ringan / sedang + BS (*Block Stacking*) untuk barang berat

Gambar 10. Sistem Gudang Opsi AS/RS + BS

Pilihan terakhir adalah untuk menyimpan ringan/sedang item dengan yang metode AS/RS dan barang-barang berat dengan *Block Stacking*. Setelah barang diperiksa, barang ringan/sedang ditempatkan di rak dengan bantuan AGV sedangkan



barang berat ditumpuk dengan *forklift*. Barang ringan/sedang diambil oleh AGV dan dibawa ke area penyortiran dan barang berat diambil oleh *forklift*. Barang ringan / sedang ditempatkan di konveyor dan untuk barang berat pilihan dapat dibuat dengan menggunakan konveyor atau untuk membawa barang ke area konsolidasi. Kombinasi *forklift* dengan tenaga kerja memungkinkan konsolidasi palet untuk pengiriman.

Untuk MHE (*Material Handling Equipment*) yang akan digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Table 16. MHE untuk AS/RS + BS

MHE yang Dibutuhkan	Uraian
<i>Power lift truck – Clamp truck (CT)</i>	<i>Unloading</i> barang berat, letakkan barang berat di palet masuk, letakkan barang berat di palet keluar
<i>Pallet jack - Electric Pallet truck (EPT)</i>	<i>Unloading</i> barang ringan / sedang, angkut barang ringan / sedang diatas palet ke penyimpanan
<i>Automatic Guide Vehicle (AGV)</i>	Simpan palet di rak, ambil palet, isi kembali
<i>Conveyor</i>	Mengangkut dan menyortir palet dari penyimpanan ke area konsolidasi
<i>AutoIdentification – RFID/Bar code scan</i>	Simpan dan tulis ulang data ditempat.

Table 17. Kelebihan dan Kekurangan Sistem AS/RS + BS

KELEBIHAN	Sistem campuran FIFO & LIFO	Adanya penumpukan blok palet
	Jarak minimal	Jarak yang jauh berkurang dengan adanya konveyor, dan AGV bergerak otomatis ke lokasi barang
	Kesalahan minimal	RFID sangat akurat dan meningkatkan akurasi penyimpanan dan pengambilan
	Ergonomi maksimal	Semua barang berat diangkut dengan MHE
	Penggunaan ruang minimal	ASRS + BS meningkatkan pemanfaatan ruang
KEKURANGAN	Sistem campuran FIFO & LIFO	Adanya penumpukan blok palet
	Interaksi manusia kategori sedang	Potensi terjadi human error
	Fleksibilitas kategori sedang	Variabilitas gerakan berkurang

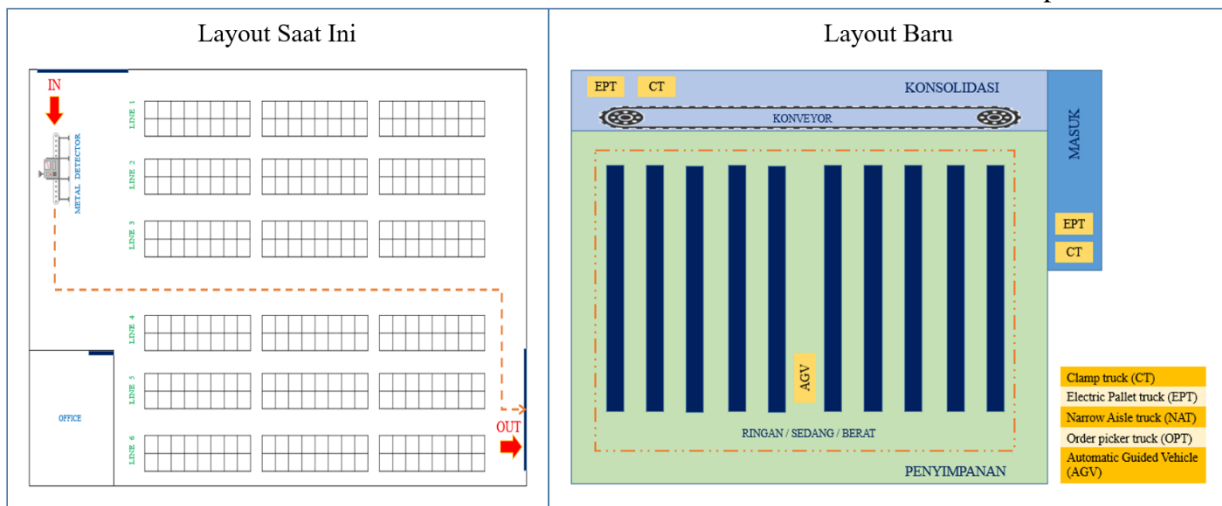
Dari keempat sistem yang dibahas, perusahaan memiliki opsi untuk memilih sesuai kondisi dan kebutuhan.

Jika perusahaan memutuskan untuk melakukan efisiensi, dan memutuskan bahwa otomatisasi adalah bagian penting dari misi perusahaan, metode *ASRS Goods to Picker* untuk barang ringan/sedang dan berat adalah solusi terbaik.

Ketika otomatisasi dan efisiensi menjadi prioritas utama, tetapi pemanfaatan ruang juga memainkan peran penting, sistem *ASRS* yang dikombinasikan dengan *Block Stacking* adalah hasil yang baik.

Jika anggaran tidak mencukupi dan metode *Goods to Picker* tidak memungkinkan, tetapi sistem FIFO, efisiensi jarak dan alokasi tenaga kerja masih menjadi bagian dari tujuan, maka *VNAR* paling cocok.

Bila menerapkan *VNAR* dengan *BS* maka sistem semi-otomatis terpenuhi namun



perlu menyediakan anggaran investasi pada peralatan teknis agar tetap bisa melakukan perbaikan dimasa mendatang, dan perlu mempertimbangkan sistem identifikasi otomatis dengan RFID.

Untuk pilihan yang komplit adalah *AS/RS + BS*. Perbandingan kondisi saat ini dan kondisi yang bisa didapatkan jika menerapkan desain baru, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 11. Perbandingan *Layout* Saat Ini dan *Layout* Baru
(Sumber: Hasil Pengolahan Sendiri, 2020)

Table 18. Perbandingan Kondisi Saat Ini dan Desain Baru

No	Kondisi Saat Ini	Kondisi Baru
1	Sistem Manual : waktu dan operasional ketergantungan terhadap manusia/operator	Sistem Otomatis : waktu lebih pasti, operasional dengan peralatan MHE otomatis
2	Akurasi data rendah : menggunakan barcode yang mudah rusak dan rawan duplikasi	Akurasi tinggi : menggunakan RFID dan bahan tidak mudah rusak
3	Ada aktivitas operator : untuk angkat, dorong, kirim ke lokasi penyimpanan	Aktivitas nol : digantikan konveyor dan AGV
4	Sistem : campuran FIFO dan LIFO	Sistem : bisa full FIFO
5	Biaya Variabel tinggi : semua ditangani oleh operator (tenaga kerja)	Biaya variabel rendah : tenaga kerja berkurang, ditangani oleh MHE otomatis
6	Butuh ruang besar : semua barang disusun diatas palet (<i>Block Stacking</i>)	Ruang cukup dengan luas saat ini : penggunaan sistem rak, barang bisa disusun keatas, kapasitas bisa menampung (2x31680 = 63360 karton)
7	Lead time process dari setiap VSM terdapat <i>wasting time</i> dengan total 1.203,7 detik	Lead time process dari setiap VSM dapat diperbaiki, sehingga <i>wasting time</i> dapat diatasi, dan diperoleh efisiensi waktu dengan total 2.037,7detik
8	Ergonomi dan <i>Safety</i> : tidak terjamin, operator harus angkat, dorong barang berat	Ergonomi dan <i>Safety</i> : lebih terjamin, aktivitas angkat, dorong ditangani oleh peralatan MHE

Dengan mempertimbangkan manfaat yang akan diperoleh, maka desain baru dapat diimplementasikan.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini akan menjawab semua rumusan masalah yang ada. Dan menjadi acuan perusahaan dalam melakukan rancang ulang gudang *finish goods* yang baru.

1. Identifikasi Rancangan dan Teknologi Gudang

Rancangan gudang dapat dikelompokkan pada tingkat strategis, taktis, dan operasional. Teknologi gudang dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu manual, semi-auto, dan otomatis.

2. Evaluasi Rancangan dan Teknologi Gudang Saat ini

Kondisi rancangan dan teknologi yang digunakan oleh perusahaan saat ini masih tergolong sistem manual.

3. Konsekuensi dan Kendala Operasi Gudang Saat Ini

Konsekuensi dan kendala dari operasi gudang pada perusahaan saat ini adalah data dan informasi yang tidak akurat (kacau), adanya *wasting time* dan kurangnya kapasitas penyimpanan. Permasalahan data dan informasi saat ini sebesar 36%.

4. Rancang Ulang Gudang dengan Teknologi Era Industri 4.0

Rancang ulang gudang dengan teknologi era industri 4.0 yang dapat diterapkan pada perusahaan adalah AS/RS. MHE bisa menggunakan AGV dan konveyor. Dengan sistem AS/RS, gudang bisa

menerapkan full FIFO dan akurasi data meningkat. Kapasitas penyimpanan meningkat dari 31.680 karton menjadi 63.360 karton. Hasil efisiensi waktu yang diperoleh sebesar 2.037,7 detik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti bersyukur kepada Allah SWT dan berterima kasih kepada orang tua, pembimbing, dan semua pihak yang telah membantu penyusunan tesis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackhoff, R. L. (2001, May 31). *A Brief Guide to Interactive Planning and Idealized Design*. Retrieved from Ackhoff Center Weblog: ackhoffcenter.blogs.com/ackoff_center_w eblog/2003/10/a_brief_guide_t.html.
- Ana Globočnik Žunac, Krešimir Buntak, Petra Tišler (2019). *Size Of A Company And Its Impact On Perception Of Intangible Motivation*, *International Journal for Quality Research*.
- Ashayeri, J., Gelders, L. F., & Van Looy, P. M. (1985). *Micro-computer simulation in design of automated guided vehicle systems*. *Material flow*, 2(1), 37-48.
- Bartholdi III, J. J., & Hackman, S. T. (2016). *Warehouse & Distribution Science Releas 0.97*. Atlanta: Georgia Insitute of Technology - The Supply Chain & Logistic Insitute.
- Bastion Solutions. (2017, 5 26). *Goods-to-picker Order Fullfilment*. Retrieved from Bastion Solutions: <http://www.bastiansolutions.com/solutio ns/technology/goods-to-person>
- Berthiaume, D. (2016, December 7). *Barcodes vs. RFID – Are Barcodes Better than RFID Tags for Product Data in Retail, Logistics and Healthcare?* Scandit: <http://www.scandit.com/are-barcodes- better-rfid-tags-product-data-retail- logistics-healthcare/>
- Bouh, M. A., & Riopel, D. (2015). *Material Handling Equipment Selection: New*

- Classification of Equipment and Attributes*. Cirrelt The Science of Network. Conference paper obtained on 28 February 2017: <https://www.cirrelt.ca/>
- Bowersox, Donald J. (1978). *Manajemen Logistik: Integrasi Sistem-Sistem Manajemen Distribusi Fisik dan Manajemen Material (terjemahan Drs. A. Hasymi Ali)*. Jakarta: Penerbit Bumi Aksara.
- Bozer, & J. M. Tanchoco, *Facilities Planning*, 4th edition (p. 265). New York: Wiley.
- Graves, J. (2012, May 8). *What You Should Know about Goods-to-Person Fulfillment*. Material Handling & Logistics: <http://mhlnews.com/technology-amp-automation/what-you-should-know-about-goods-person-fulfillment>
- Gu J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). *Research on Warehouse Design and Performance Evaluation: A Comprehensive Review*. Elsevier - European Journal of Operational Research 203, 539-549.
- Hassan, M. M. (2015). *A Framework for Selection of Material Handling Equipment in Manufacturing and Logistic Facilities*. Journal of Manufacturing Technology Management, 21(2), 246-268.
- Hassan, M. M., Hogg, G. L., & Smith, D. R. (1985). *A Construction Algorithm for the Selection and Assignment of Materials Handling Equipment*. International Journal of Production Research, 381-392.
- Jacyna, M., Lewczuk, K., & Klodawski, M. (2015). *Technical and Organizational Conditions of Designing Warehouses with Different Functional Structures*. Journal of Kones Powertrain and Transport 22 (3), 49-58.
- James, A. M. (1990). *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan*. Edisi Ke Tiga, ITB, Bandung.
- Kaibini, R. (2015, December 25). *Activity Profiling*. Website: <https://www.projectmanagement.com/wikis/232998/Activity-Profiling>
- Link51. (2017, May 26). *Racking and Warehouse - Storage Guide*. Telford, Shropshire, United Kingdom.
- Martin, K., & Osterling, M. (2013). *Value Stream Mapping*. Europe: McGraw-Hill Education.
- Panneman, T. (2015). Tijdstudie. *Lean & Management*. Samenvattingen: <http://www.panview.nl/lean-productie-lean-toolbox/tijdstudie>.
- Pfohl, H., Yashi, B., & Kurnaz, T. (2015). "The Impact of Industry 4.0. on the Supply Chain". Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains, 20, 31-58.
- Pollux Beheer & Advies B.V. (2016). *Multimomentopname: Handleiding*. Retrieved from Multi Moment Opname - Meten Is Weten: <http://multimomentopname.nl/MMO-TAB-Beschrijving.html>.
- R. (M.) BM De Koster, T Le-Duc (2005). *Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse*. International Journal of Production Research 43 (17), 3561-3581.
- Rouwenhorts, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. (2000). *Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review*. European Journal of Operational Research, 122, 515-533.
- Sinan Apak, Hakan Tozan, Özalp Vayvay (2016). *A new systematic approach for warehouse management system evaluation*, Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette.
- Staudt, F. H., Alpan, G., Mascolo, M. D., & Taboada Rodriguez, C. M. (2015). *Warehouse Performance Measurement: A Literature Review*. International

Journal of Production Research, 53 (16),
5524-5544.

Stone, S. (2015, 10 29). *Goods-to-Picker
Methods and Alternatives*. Cisco-Eagle:
[http://www.cisco-
eagle.com/blog/2015/10/29/goods-to-
picker-methods-and-alternatives/](http://www.cisco-eagle.com/blog/2015/10/29/goods-to-picker-methods-and-alternatives/)

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., &
Tanchoco, J. M. (2003). *Facilities
Planning*. In J. A. Tompkins, J. A. White,
Y. A.