

Evaluasi Pergudangan dengan Pendekatan *Lean Warehousing* dan *Linear Programming* (Studi Kasus PT. X)

Naufal Ghani Ibrahim, dan Yudha Prasetyawan
Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yudhaprase@gmail.com

Abstrak—PT X adalah perusahaan yang memproduksi alat kesehatan yang berfokus pada implan ortopedi yang saat ini masih didominasi oleh produk impor. Beberapa produk yang diproduksi oleh PT X antara lain: *straight plate, angled blade plates, special plates, dynamic hip screw plates* dan *bone screws*. PT X berdiri pada tahun 2017 sehingga masih terdapat beberapa masalah yang dapat menyebabkan proses produksi menjadi terhambat, terutama di area gudang. Meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pergudangan untuk meminimalkan pemborosan (*waste*) adalah langkah yang harus dilakukan. Menerapkan konsep *lean manufacturing* adalah salah satu metode untuk mengurangi *waste*. Konsep *lean manufacturing* untuk *warehouse* telah diterapkan selama dua dekade terakhir untuk meningkatkan logistik internal perusahaan. Penerapan prinsip *lean* di perusahaan tidak hanya dilakukan di area manufaktur, tetapi juga dalam semua proses yang dilakukan di dalam perusahaan. Penerapan prinsip *lean* di area gudang adalah salah satu langkah untuk meningkatkan proses dan kinerja gudang. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan sebelumnya hanya berfokus pada pengurangan *waste* dan belum mempertimbangkan biaya implementasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi *waste* yang mungkin dapat muncul dalam proses pergudangan menggunakan *value stream mapping*. Setelah *waste* berhasil diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan perbaikan dengan menggunakan aktivitas rekomendasi perbaikan dan menghitung manfaat yang diberikan dengan *linear programming*. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan, *cycle time* yang ditempuh oleh gudang bahan baku dan produk jadi secara berurutan sebesar 48,6 menit dan 67,3 menit. Melalui perhitungan *linear programming*, rekomendasi yang diusulkan berupa penerapan label dengan *barcode*, pemasangan ERP dan penerapan *E-Kanban*. Dengan pendekatan simulasi, penerapan rekomendasi perbaikan yang diberikan dapat menghilangkan beberapa *waste* yang ada pada gudang sehingga, *cycle time* yang ditempuh oleh gudang bahan baku dan produk jadi secara berurutan menjadi 41,2 menit dan 59,8 menit.

Kata Kunci—*Lean Warehousing, Warehouse, Waste, Value Stream Mapping, Process Activity Mapping, Linear Programming.*

I. PENDAHULUAN

PADA era moderen saat ini, faktor seperti digitalisasi, tingkat kompetitif dan *time to market* yang lebih pendek memiliki dampak yang lebih besar dibanding era sebelumnya pada aktivitas logistik perusahaan [1]. Faktanya untuk memenuhi permintaan pelanggan, aktivitas pergudangan harus lebih optimal dalam mengurangi kegiatan yang tidak efisien [2]. Gudang merupakan tempat terjadinya perpindahan barang yang didalamnya memiliki aktivitas *receiving, storing, order picking* dan *shipping* [3]. Gudang merupakan satu dari pilar penting

dalam *supply chain* karena selalu terlibat dalam setiap proses bisnis perusahaan seperti perencanaan, pengadaan, produksi dan distribusi [4]. Tren pada era saat ini adalah bagaimana membuat gudang menjadi lebih fleksibel dalam menghadapi perubahan permintaan, meningkatkan akurasi penyimpanan dan meningkatkan efisiensi setiap proses pada gudang [5]. Pendekatan yang paling sering digunakan untuk peningkatan berkelanjutan (*continuous improvement*) adalah *lean*. Berdasarkan prinsip *lean management*, terdapat 8 tipe pemborosan (*waste*): *waiting, transportation, over-processing, over-production, inventory, motion, defect* dan *underutilised employees* [6], [7].

Penerapan *lean management* tidak hanya pada area manufaktur, tetapi juga dapat diterapkan di area lain perusahaan seperti *supply chain*, pergudangan dan organisasi perusahaan. Pergudangan merupakan satu dari banyak aspek yang penting dalam mendukung ketercapaian tujuan penerapan *lean management*. *Lean warehousing* merupakan konsep yang membutuhkan kestabilan, keberlanjutan sistemik dan pengukuran perbaikan yang melibatkan seluruh karyawan [8]. *Lean warehousing* juga dapat diartikan sebagai konsep untuk mengurangi *waste* pada bagian *upstream* maupun *downstream* pada *supply chain* [9]. Penelitian pada *lean warehousing* telah banyak dilakukan dengan bermacam hasil kombinasi *lean tool*. Penelitian yang dilakukan oleh Swank, 2003 memiliki hasil berupa mengurangi *response time* sebanyak 60%, pengurangan biaya tenaga kerja sebanyak 28% dan 40% pengurangan *reissues* karena kesalahan, Cook et al, 2005 (pengurangan *inbound cycle time* sebesar 71%, 76% pengurangan tingkat *inventory*, pengurangan kebutuhan area sebesar 51%), Pan et.al. 2010 (Menggunakan *value stream mapping* untuk mengurangi waktu pengiriman), Jaca et al. 2012 (peningkatan produktivitas gudang sebesar 9,34%), Bozer, 2012 (Membangun '*house of lean warehousing*' dan mengidentifikasi operasi fundamental yang dibutuhkan untuk mengimplementasi prinsip *lean* pada gudang), Dehdari et al. 2013 (meningkatkan produktivitas gudang sebesar 5%) dan Dotoli et al. 2013 menggunakan VSM untuk mengidentifikasi aktivitas *non value added* dan menggunakan teknik *Gemba Shikumi* untuk memilih respon terbaik [10], [11].

Implementasi dari konsep *lean* pada gudang dapat meningkatkan nilai dan mengurangi biaya karena kegiatan pada gudang bukan hanya sumber biaya, tetapi juga sumber *competitive advantages* untuk mencapai *service level* yang lebih tinggi [12]. Penerapan *lean warehousing* juga memiliki

Tabel 3.
Process Activity Mapping Gudang Bahan Baku

Gudang Bahan Baku			
No	Tipe Aktivitas	Jumlah Aktivitas	Waktu (Detik)
1	Operation	15	1900
2	Transport	2	65
3	Inspection	4	230
4	Storage	1	722
5	Delay	0	-
Total		22	2917

Tabel 4.
Process Activity Mapping Gudang Produk Jadi

Gudang Produk Jadi			
No	Tipe Aktivitas	Jumlah Aktivitas	Waktu (Detik)
1	Operation	19	2824.14
2	Transport	4	131
3	Inspection	5	281
4	Storage	1	682.87
5	Delay	1	120
Total		30	4039

dampak terhadap perbaikan internal dan eksternal perusahaan. Penelitian yang dilakukan oleh McKinsey pada tahun 2010 menunjukkan bahwa perbaikan internal gudang dapat berupa aspek orang/pegawai, proses, performansi dan layout sedangkan untuk aspek eksternal dapat berupa interaksi terhadap pihak ketiga dan kepemilikan [13].

Hampir keseluruhan penelitian yang dilakukan pada *lean warehousing* hanya berfokus pada pengurangan *waste* dan belum ada yang melakukan perhitungan dengan sudut pandang biaya. Jurnal ini akan mencoba untuk menghitung biaya investasi untuk penerapan perbaikan dengan prinsip *lean* menggunakan *linear programming*. *Linear programming* (LP) merupakan cara untuk menyelesaikan permasalahan optimasi [14]. *Linear programming* terdiri dari variabel keputusan, fungsi tujuan dan batasan.

Tujuan dari penelitian ini adalah menciptakan sistem pergudangan yang lebih baik dengan pendekatan *lean warehousing* dan memilih rekomendasi aktivitas perbaikan yang memberikan dampak tertinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut, dibetuklah beberapa langkah untuk mencapai tujuan tersebut; identifikasi aktivitas pergudangan, membuat *current value stream mapping*, analisa dan identifikasi *waste* menggunakan 5 *why's*, perhitungan dengan *linear programming* dan membangun *future value stream mapping*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pembuatan Model Lean Warehousing

Tahap ini diawali dengan konsep *lean warehousing*, dilanjutkan dengan pembuatan *current value stream mapping* dan diakhiri dengan identifikasi *waste* pada gudang.

B. Perhitungan Linear Programming

Tahap ini diawali dengan identifikasi fungsi tujuan variabel keputusan dan batasan, dilanjutkan dengan penyusunan model *linear programming* dan diakhiri dengan pemilihan rekomendasi aktivitas perbaikan berdasarkan hasil *linear programming* yang telah dihitung dengan bantuan Microsoft Excel Solver.

Tabel 1.
Klasifikasi Aktivitas Gudang Bahan Baku Berdasarkan Jumlah

Gudang Bahan Baku						
Aktivitas	Aktivitas	VA	NNVA	NVA	%NNVA	%NVA
Receiving	8	4	4	0	50%	0%
Storing	5	1	3	1	60%	20%
Picking	6	1	3	2	50%	33%
Shipping	3	0	3	0	100%	0%
Jumlah	22	6	13	3	59%	14%
Persentase		27%	59%	14%		

Tabel 2.
Klasifikasi Aktivitas Gudang Bahan Baku Berdasarkan Waktu

Gudang Bahan Baku						
Aktivitas	Total Durasi (Detik)	VA	NNVA	NVA	%NNVA	%NVA
Receiving	799	614	185	0	23%	0%
Storing	954	842	75	37	8%	4%
Picking	1038	739	92	207	9%	20%
Shipping	25	0	25	0	100%	0%
Jumlah	2817	2196	377	244	13%	9%
Persentase		78%	13%	9%		

C. Pembuatan Future Value Stream Mapping

Tahap ini merupakan tahap pembuatan *future value stream mapping* berdasarkan hasil pemilihan rekomendasi aktivitas perbaikan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Process Activity Mapping

Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan identifikasi terhadap aktivitas yang ada ada gudang. Pada penelitian ini, gudang yang diamati adalah gudang bahan baku dan gudang produk jadi. *Tool* yang digunakan dalam melakukan identifikasi aktivitas pada gudang adalah *process activity mapping* (PAM). Kedua gudang memiliki aktivitas utama yang sama yaitu; *receiving*, *storing*, *order picking* dan *shipping*. Tabel 1 dan tabel 2 merupakan PAM unttuk gudang bahan baku dan produk jadi.

Tabel 3, tabel 4, tabel 5, dan tabel 6 merupakan rekapitulasi PAM untuk gudang bahan baku dan produk jadi berdasarkan aktivitas dan durasi waktu yang dibutuhkan.

Tabel 3 mengklasifikasikan aktivitas pada gudang bahan baku berdasarkan jumlah aktivitasnya yang terdiri dari 14% *non value added activity* dan 59% *necessary but non value added activity*. Proses yang memiliki *non value added activity* paling banyak secara berurutan yaitu *picking* dan *storing*. Proses yang memiliki *necessary but non value added activity* paling banyak secara berurutan yaitu *shipping*, *picking*, dan *receiving*. Tabel 4 mengklasifikasikan aktivitas gudang bahan baku berdasarkan durasi aktivitasnya yang terdiri dari 8% *non value added activity* dan 13% *necessary but non value added activity*. Proses yang memiliki *non value added activity* paling lama secara berurutan adalah *picking* dan *storing*. Proses yang memiliki *necessary but non value added activity* paling lama secara berurutan yaitu *reciving*, *picking*, *shipping* dan *storing*.

Berdasarkan tabel 3 dan 4 dapat diketahui bahwa aktivitas pada gudang bahan baku berlangsung selama 2.917 detik atau

Tabel 5. Klasifikasi Aktivitas Gudang Produk Jadi Berdasarkan Jumlah Gudang Produk Jadi

Aktivitas	Jumlah Aktivitas	VA	NNVA	NVA	%NNVA	%NVA
Receiving	4	1	3	0	75%	0%
Storing	5	1	3	1	60%	20%
Picking	9	2	5	2	56%	22%
Shipping	11	3	8	0	73%	0%
Jumlah	29	7	19	3	66%	10%
Persentase		24%	66%	10%		

Tabel 6. Klasifikasi Aktivitas Gudang Produk Jadi Berdasarkan Waktu Gudang Produk Jadi

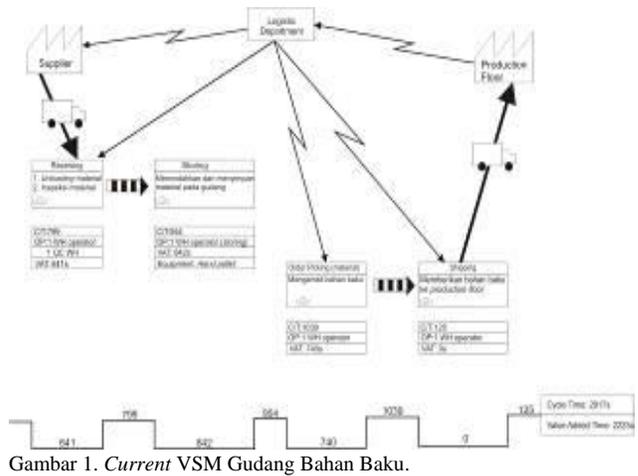
Aktivitas	Total Durasi (Detik)	VA	NNVA	NVA	%NNVA	%NVA
Receiving	102	10	92	0	90%	0%
Storing	893	802	60	31	7%	3%
Picking	1239	759	336	144	27%	12%
Shipping	1803	1528	275	0	15%	0%
Jumlah	4039	3101	763	175	19%	4%
Persentase		77%	19%	4%		

48,61 menit yang terdiri dari aktivitas penerimaan dan penyimpanan bahan baku. Pada aktivitas yang berlangsung terdapat 6 value added activity, 13 necessary but non value added activity, dan 3 non value added activity.

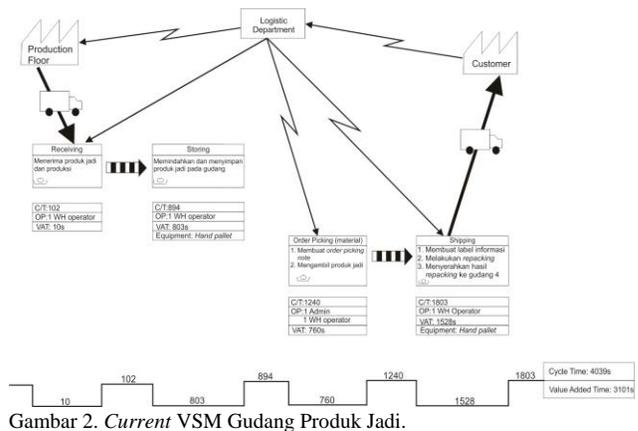
Tabel 5 mengklasifikasikan aktivitas pada gudang produk jadi berdasarkan jumlah aktivitasnya yang terdiri dari 10% non value added activity dan 66% necessary but non value added activity. Proses yang memiliki non value added activity paling banyak secara berurutan yaitu picking dan storing. Proses yang memiliki necessary but non value added activity paling banyak secara berurutan yaitu receiving, shipping, storing dan picking. Tabel 6 mengklasifikasikan aktivitas gudang produk jadi berdasarkan durasi aktivitasnya yang terdiri dari 4% non value added activity dan 19% necessary but non value added activity. Proses yang memiliki non value added activity paling lama secara berurutan adalah picking dan storing. Proses yang memiliki necessary but non value added activity paling lama secara berurutan yaitu receiving, picking, shipping dan storing..

Berdasarkan tabel 5 dan 6 dapat diketahui bahwa aktivitas pada gudang bahan baku berlangsung selama 4.039 detik atau 67,31 menit yang terdiri dari aktivitas penerimaan dan penyimpanan produk jadi. Pada aktivitas yang berlangsung terdapat 7 value added activity, 19 necessary but non value added activity, dan 3 non value added activity.

Pada tabel 3 hingga 6 dapat diketahui bahwa proporsi aktivitas pergudangan untuk gudang bahan baku dan produk jadi didominasi oleh aktivitas non value added but necessary sebesar 59% dan 66%. Sedangkan untuk persentase aktivitas value added secara berurutan sebesar 27% dan 24% untuk masing-masing gudang. Tetapi dari segi waktu, persentase terbanyak untuk kedua gudang adalah waktu aktivitas value added dengan persentase 79% dan 77%. Dari persentase ini dapat dilihat bahwa aktivitas value added yang ada pada gudang PT. X lebih kecil dibanding aktivitas non value added tetapi memiliki proporsi yang sangat besar terhadap waktu yang



Gambar 1. Current VSM Gudang Bahan Baku.



Gambar 2. Current VSM Gudang Produk Jadi.

digunakan.

B. Value Stream Mapping

Value stream mapping (VSM) digunakan untuk memahami aliran informasi dan aliran fisik pada pergudangan secara keseluruhan. Value stream mapping yang digambarkan merupakan gambaran proses pergudangan secara keseluruhan di PT. X baik untuk gudang bahan baku maupun gudang produk jadi.

Gambar 1 menunjukkan value adding time proses pergudangan pada gudang bahan baku adalah 2.223 detik atau 37,05 menit, sedangkan cycle time sebesar 2.917 detik atau 48,6 menit. Untuk gudang produk jadi, yang ditunjukkan pada gambar 2, memiliki value adding time sebesar 3.101 detik atau 51,6 menit dan cycle time sebesar 4.039 detik atau 67,31 menit. Sehingga selisih dari waktu keseluruhan dengan value adding time dapat disebut sebagai waktu yang tidak memberikan nilai tambah bagi proses pergudangan. Waktu yang tidak memberikan nilai tambah tersebut untuk gudang bahan baku sebesar 11.5 menit (atau 23,76%) dan untuk gudang produk jadi sebesar 15.71 menit (23.39%).

Waktu yang digunakan untuk melakukan aktivitas pergudangan namun tidak memberikan nilai tambah pada proses pergudangan mengindikasikan bahwa adanya pemborosan (waste) yang berdampak pada proses pergudangan.

Tabel 7.
Hasil Identifikasi Waste

No	Jenis waste	Waste yang ditemukan	Sumber penemuan	Jenis kerugian
1	Waiting	Menunggu pembuatan dan pencetakan dokumen <i>order picking note</i>	Identifikasi <i>non value added activity</i>	T = 2 menit
2	Transportation	Menunggu pembuatan dan pencetakan label informasi	Identifikasi <i>non value added activity</i>	T = 3 menit
3	Unnecessary motion	Mengembalikan palet yang telah digunakan	Pengamatan langsung dan Identifikasi <i>non value added activity</i>	T = 1 menit
4	Defect	Menata kembali rak penyimpanan	Pengamatan langsung	T = 2 menit
5	Overproduction	Hilir mudik mencari barang pada rak penyimpanan	Pengamatan langsung	Waktu proses <i>picking</i> menjadi lebih lama
6	Unnecessary inventory	Kesalahan penempelan label informasi pada proses <i>shipping</i> produk jadi	Wawancara dengan pihak perusahaan dan pengamatan langsung	Melakukan penempelan ulang
7	Inappropriate processing	Salah mengambil barang, baik jumlah maupun jenis	Wawancara dengan pihak perusahaan	Menghambat proses produksi
8		Tidak ditemukan	-	-
9		Tidak ditemukan	-	-
10		Tidak ditemukan	-	-

A. Identifikasi Waste

Identifikasi *waste* dilakukan berdasarkan identifikasi *non value added activities* dan wawancara dengan pihak perusahaan. Berikut ini adalah hasil identifikasi 7 *waste* yang ada di perusahaan. Proses wawancara dilakukan pada Manager *warehouse* dan staff *warehouse*. Berikut ini beberapa jenis *waste* yang terjadi di perusahaan:

1) Waiting

Waiting adalah kegiatan menunggu tanpa adanya aktivitas pergudangan. *Waiting* yang terjadi adalah sebagai berikut: (a)Menunggu dokumen *order picking note*. Dokumen *order picking note* digunakan oleh operator *picking* pada gudang produk jadi sebagai panduan dalam mengambil produk yang akan dikirim kepada konsumen yang dibuat oleh admin gudang produk jadi. *Order picking note* yang telah dibuat oleh admin gudang produk jadi harus dicetak terlebih dahulu sebelum diserahkan kepada operator *picking*; (b)Menunggu label informasi. Label informasi digunakan oleh operator *shipping* untuk ditempel pada kemasan *repack* sebagai pembeda antar kemasan *repack*.

2) Transportation

Beberapa *waste unnecessary motion* terjadi sebagai berikut: (a)*Waste* transportasi pada proses *shipping* produk jadi. Operator harus mengembalikan palet yang telah digunakan pada rak gudang penyimpanan produk jadi; (b)*Waste* transportasi pada proses *picking* bahan baku dan produk jadi. Operator harus menata kembali kotak penyimpanan barang agar terdapat ruang rak yang kosong dan dapat ditempati saat ada kedatangan barang.

3) Unnecessary Motion

Beberapa *waste unnecessary motion* terjadi sebagai berikut: (a)*Unnecessary motion* pada proses *storing*. Operator harus hilir mudik mencari rak yang kosong untuk meletakkan bahan baku maupun produk jadi. Hal ini disebabkan karena sistem penyimpanan yang diterapkan pada perusahaan adalah sistem *random policy* dimana barang dapat diletakkan dimana saja asalkan terdapat rak yang kosong; (b)*Unncesarry motion* pada proses *picking*. Operator harus hilir mudik mencari lokasi bahan baku maupun produk jadi pada rak. Hal ini disebabkan karena

tidak adanya label pada rak sebagai petunjuk lokasi tempat disimpannya bahan baku atau produk jadi. Akibat dari hal ini adalah operator membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat menemukan barang yang dicari.

4) Defect

Beberapa *waste defect* terjadi sebagai berikut: (a)*Defect* pada proses *shipping* produk jadi. Operator melakukan kesalahan pada penempelan label informasi. Label yang ditempel tidak sesuai dengan isi pada box *repacking* sehingga harus dilakukan penempelan ulang; (b)*Defect* pada proses *picking*. Operator melakukan kesalahan saat mengambil barang. Barang yang diambil tidak sesuai dengan permintaan, baik dalam hal jenis maupun jumlah. Kesalahan ini dapat menyebabkan terhambatnya proses produksi maupun proses *repacking* dan mengharuskan operator gudang mengembalikan dan mengambil barang yang sesuai dengan permintaan.

Berdasarkan tabel 7, dapat diketahui bahwa, dari konsep 7 *waste* yang digunakan, terdapat 4 *waste* yang ditemukan pada proses pergudangan PT. X Yaitu *waiting*, *transportation*, *unnecessary motion* dan *defect*. *Waste* pada *overproduction*, *unnecessary inventory* dan *inappropriate processing* tidak ditemukan. Pada *waste waiting*, perusahaan mengalami kerugian pada waktu sebesar 5 menit. *Waste waiting* terjadi karena operator *picking* harus menunggu *order picking note* untuk mengambil barang dan operator *shipping* harus menunggu label informasi yang akan ditempelkan pada box *repacking*.

Pada *waste transportation*, perusahaan mengalami kerugian 7 menit karena operator harus mengembalikan palet yang telah digunakan dan menata rak penyimpanan agar terdapat lokasi yang kosong. Pada *waste unnecessary motion*, perusahaan mengalami kerugian berupa waktu yang mengakibatkan proses *picking* menjadi lebih lama dikarenakan operator harus hilir mudik mencari lokasi rak tempat barang disimpan.

Pada *waste defect*, perusahaan akan mengalami berupa pengulangan proses dan waktu produksi. Pengulangan proses terjadi karena operator salah dalam menempelkan label informasi pada box *repacking* yang mengharuskan label untuk dicetak dan ditempel ulang. Sedangkan kerugian dalam hal waktu produksi diakibatkan karena operator gudang salah

Tabel 8.
Kombinasi Alternatif

Kombinasi		
2 alternatif	3 alternatif	4 alternatif
Alternatif 1 dan 2	Alternatif 1, 2 dan 3	Seluruh alternatif
Alternatif 1 dan 3	Alternatif 1, 2 dan 4	
Alternatif 1 dan 4	Alternatif 2, 3 dan 4	
Alternatif 2 dan 3		
Alternatif 2 dan 4		
Alternatif 3 dan 4		

Tabel 9.
Rekapitulasi Hasil Linear Programming

2 Kombinasi					
Alternatif	Nilai Variabel				Nilai Z
	X1	X2	X3	X4	
1 dan 2	1	1	-	-	6
1 dan 3	1	-	1	-	7
1 dan 4	1	-	-	1	5
2 dan 3	-	1	1	-	5
2 dan 4	-	1	-	1	3
3 dan 4	-	-	1	1	4

3 Kombinasi					
Alternatif	Nilai Variabel				Nilai Z
	X1	X2	X3	X4	
1,2 dan 3	1	1	1	-	9
1,2 dan 4	1	1	-	1	7
2,3 dan 4	-	1	1	1	6

4 Kombinasi					
Alternatif	Nilai Variabel				Nilai Z
	X1	X2	X3	X4	
1,2,3 dan 4	1	1	1	0	9

mengambil bahan baku baik dalam hal jumlah maupun jenis. Ketika bahan baku yang diambil salah, maka pihak produksi akan menuju gudang untuk memintakan bahan baku yang benar dan operator gudang harus mengambil bahan baku yang sesuai dan mengembalikan bahan baku yang salah.

B. Linear Programming

Setelah dilakukan identifikasi akar penyebab *waste*, selanjutnya dilakukan perhitungan *linear programming* untuk mengetahui rekomendasi perbaikan yang sesuai berdasarkan manfaat yang didapat dengan menerapkan rekomendasi tersebut. *Linear programming* yang digunakan pada perhiurrgan kali ini adalah *Binary Value Linear Programming* dimana variabel (alternatif) X_n akan bernilai 1 jika alternatif tersebut terpilih dan 0 jika tidak terpilih Terdapat empat alternatif rekomendasi yang diberikan yaitu; penggunaan label dengan *barcode* (alternatif 1), pemasangan sistem ERP dengan Odoo (alternatif 2), penerapan *E-Kanban* (alternatif 3) dan penggunaan konveyor (alternatif 4). Fungsi tujuan yang digunakan dalam *linear programming* ini adalah maksimasi nilai manfaat dari setiap alternatif dan batasan yang digunakan adalah biaya investasi, biaya *maintenance* dan jumlah operator.

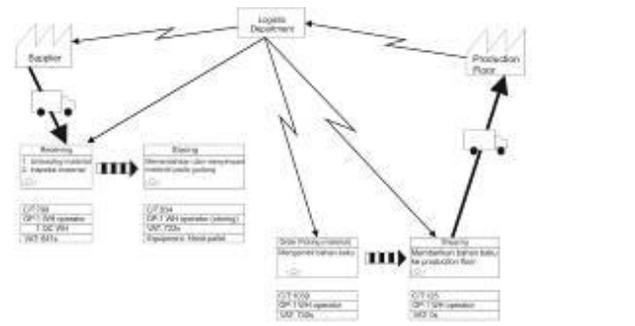
Berikut merupakan formulasi matematis untuk *linear programming* yang digunakan:

1) *Objective Function*

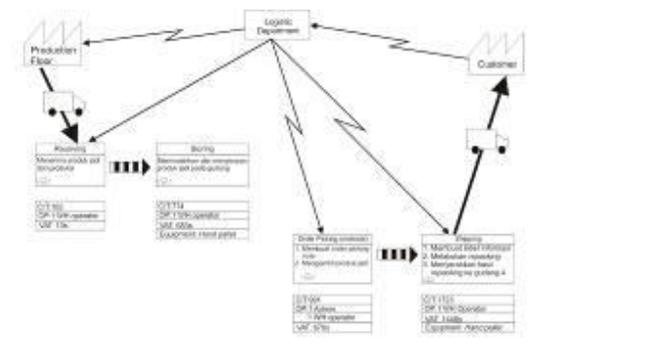
$$Max Z = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

2) *Subject to:*

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq B_i \quad (2)$$



Gambar 3. Future VSM Gudang Bahan Baku.



Gambar 4. Future VSM Gudang Produk Jadi.

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq B_m \quad (3)$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq O_p \quad (4)$$

Formulasi diatas merupakan formulasi yang akan digunakan untuk memilih alternatif rekomendasi perbaikan yang akan diterapkan. Persamaan 1 menunjukkan fungsi tujuan untuk mencari nilai manfaat terbesar untuk setiap alternatif. Persamaan 2 merupakan batasan untuk biaya investasi dengan nilai B_i sebesar Rp 250.000.000, persamaan 3 batasan untuk biaya *maintenance* dengan nilai B_m sebesar Rp 25.000.000 dan persamaan 4 merupakan batasan untuk jumlah operator dengan nilai O_p sebesar 14 orang. Untuk mencari nilai fungsi tujuan terbesar dan alternatif terbaik, maka akan dilakukan kombinasi dalam mencari alternatif terbaik dengan 2 kombinasi alternatif, 3 kombinasi dan 4 kombinasi. Tabel 8 merupakan kombinasi yang akan digunakan dalam mencari alternatif terbaik.

Setelah dilakukan pengelompokan alternatif, selanjutnya akan dilakukan perhitungan menggunakan *Solver* pada Ms. Excel dalam tabel 9 merupakan hasil perhitungannya.

Perhitungan *linear programming* telah dilakukan pada bab 4.7 dimana rekomendasi perbaikan yang terpilih adalah kombinasi alternatif 1, 2 dan 3 berupa penggunaan label dengan *barcode*, pemasangan ERP dengan Odoo dan penerapan *E-Kanban*. Kombinasi alternatif tersebut memiliki nilai sebesar 9 dan merupakan nilai terbesar bersamaan dengan kombinasi alternatif 1,2,3 dan 4. Kombinasi alternatif 1,2 dan 3 dipilih karena alternatif tersebut tidak memiliki nilai 0 pada variabelnya. Kombinasi alternatif 1,2,3 dan 4 memiliki nilai 0

pada variabel X4 sehingga tidak dipilih.

C. Future Value Stream Mapping

Setelah dilakukan perhitungan untuk memilih alternatif rekomendasi perbaikan, maka pada sub bab ini akan digambarkan seberapa besar dampak yang diberikan oleh rekomendasi yang dipilih dengan menggambarkan *future VSM*. Penggambaran *future VSM* ini dilakukan hanya untuk memperkirakan seberapa besar dampak yang diberikan tanpa mengimplementasikannya dikarenakan keterbatasan waktu dan persiapan. Asumsi yang digunakan adalah rekomendasi perbaikan yang dipilih dapat diimplementasikan secara sempurna dan *waste* yang ada dapat hilang secara keseluruhan. Gambar 3 dan gambar 4 merupakan gambaran *future VSM* untuk gudang bahan baku dan gudang produk jadi.

Secara keseluruhan, penerapan rekomendasi perbaikan terpilih dapat mereduksi *cycle time* pada gudang bahan baku sebesar 15% (441 detik) dan gudang produk jadi sebesar 11% (449 detik). Keseluruhan hasil perbandingan pada tabel 5 dan tabel 6 merupakan hasil pendekatan simulasi dengan asumsi penerapan rekomendasi perbaikan dapat dilakukan 100%. Hasil penerapan rekomendasi perbaikan secara aktual dapat berbeda dengan hasil simulasi. Perbedaan tersebut dapat disebabkan dari berbagai variabel yang mungkin belum diperhitungkan saat dilakukannya simulasi.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat 4 *waste* yang ditemukan pada proses pergudangan PT. X baik untuk gudang bahan baku maupun gudang produk jadi. Empat *waste* tersebut adalah *waiting*, *transportation*, *unnecessary motion* dan *defect*. *Waste waiting* terjadi karena operator *picking* menunggu admin gudang untuk membuat *order picking note* dan operator *shipping* pada gudang produk jadi menunggu pembuatan label informasi. *Waste transportation* terjadi karena aktivitas pengembalian palet kosong pada rak dan aktivitas merapikan rak penyimpanan agar ada ruang yang kosong. *Waste unnecessary motion* terjadi karena aktivitas hilir mudik operator dalam mencari lokasi penyimpanan barang pada rak yang belum memiliki label. Sedangkan *waste defect* terjadi karena operator *shipping* salah dalam menempelkan label informasi dan operator *picking* salah dalam mengambil barang, baik jumlah maupun jenis.

Pembuatan *current state value stream mapping (current VSM)* bertujuan untuk mengetahui kondisi terkini yang terjadi pada gudang. *Current VSM* pada gudang bahan baku menunjukkan bahwa *cycle time* yang terjadi pada gudang tersebut sebesar 2917 detik sedangkan *value added time* yang terjadi sebesar 2223 detik. Sedangkan pada gudang produk jadi, *cycle time* yang ada sebesar 4039 detik dan *value added time* sebesar 3101 detik. Dengan adanya selisih antara *cycle time* dan

value added time menunjukkan bahwa aktivitas yang terjadi pada kedua gudang masih mengandung unsur aktivitas *non value added*. *Future VSM* dibuat sebagai gambaran apakah rekomendasi perbaikan yang dipilih dapat memberikan dampak. *Future VSM* yang telah dibuat menunjukkan terjadinya pengurangan *cycle time*. Untuk gudang bahan baku, *cycle time* berkurang dari 2917 detik menjadi 2476 detik, sedangkan untuk gudang produk jadi *cycle time* berkurang dari 4039 detik menjadi 3590 detik.

Penentuan rekomendasi perbaikan dilakukan dengan menggunakan metode *linear programming*. Terdapat 4 alternatif yang ditawarkan; penggunaan label dengan *barcode* (alternatif 1), pemasangan sistem ERP dengan Odoo (alternatif 2), penerapan *E-Kanban* (alternatif 3) dan penggunaan konveyor (alternatif 4). Penggunaan *linear programming* dilakukan untuk mengetahui alternatif mana yang memiliki nilai manfaat yang lebih besar. Dari hasil perhitungan, ditemukan bahwa nilai manfaat terbesar ada pada rekomendasi gabungan antara alternatif 1, 2 dan 3 dengan nilai manfaat sebesar 10.9.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Dotoli, N. Epicoco, M. Falagario, N. Costantino, and B. Turchiano, "An integrated approach for warehouse analysis and optimization: A case study," *Comput. Ind.*, vol. 70, pp. 56–69, 2015.
- [2] M. Dotoli, N. Epicoco, M. Falagario, and N. Costantino, "A lean warehousing integrated approach: A case study," in *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, 2013, pp. 1–7.
- [3] J. P. den Berg and W. H. M. Zijm, "Models for warehouse management: Classification and examples," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 59, no. 1–3, pp. 519–528, 1999.
- [4] A. Rushton, P. Croucher, and P. Baker, *The Handbook Of Logistics And Distribution Management: Understanding The Supply Chain*. Kogan Page Publishers, 2014.
- [5] N. Buonamico, L. Muller, and M. Camargo, "A new fuzzy logic-based metric to measure lean warehousing performance," in *Supply Chain Forum: An International Journal*, 2017, vol. 18, no. 2, pp. 96–111.
- [6] M. Braglia, G. Carmignani, and F. Zammori, "A new value stream mapping approach for complex production systems," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 44, no. 18–19, pp. 3929–3952, 2006.
- [7] M. S. Begam, R. Swamynathan, and J. Sekkizhar, "Current trends on lean management--A review," *Int. J. Lean Think.*, vol. 4, no. 2, pp. 15–21, 2013.
- [8] P. Dehdari, *Measuring the impact of lean techniques on performance indicators in logistics operations*, vol. 80. KIT Scientific Publishing, 2014.
- [9] A. Reichhart and M. Holweg, "Lean distribution: concepts, contributions, conflicts," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 16, pp. 3699–3722, 2007.
- [10] J. J. Visser, "Lean in the warehouse: Measuring lean maturity and performance within a warehouse environment," *Rotterdam Sch. Manag. Erasmus Univ. Rotterdam*, 2014.
- [11] E. Oey and M. Nofrimurti, "Lean implementation in traditional distributor warehouse-a case study in an FMCG company in Indonesia," *Int. J. Process Manag. Benchmarking*, vol. 8, no. 1, pp. 1–15, 2018.
- [12] A. Andjelković, M. Radosavljević, and D. Stošić, "Effects of Lean tools in achieving Lean warehousing," *Econ. Themes*, vol. 54, no. 4, pp. 517–534, 2016.
- [13] K. Alicke and M. Lösche, "Lean and mean: How does your supply chain shape up," *McKinsey Co.*, 2010.
- [14] W. Winston and J. B. Goldberg, "Operations Research Applications and Algorithms 4th," *Belmont, CA Brooks/Cole*, 2003.