



Industrial Engineering
Department



SEVERAL PERSPECTIVES IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Volume I : A Tribute to Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono

Editor :

M. Mujiya Ulkhaq
Chaterine Alvina Prima Hapsari
Faradhina Azzahra

Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro

SEVERAL PERSPECTIVES IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Volume I:

A Tribute to Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono

Editor:

**M. Mujiya Ulkhaq
Chaterine Alvina Prima Hapsari
Faradhina Azzahra**



UNDIP PRESS
SEMARANG
2022

SEVERAL PERSPECTIVES IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Volume I:

A Tribute to Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono

Editor:

M. Mujiya Ulkhaq

Chaterine Alvina Prima Hapsari

Faradhina Azzahra

Desain Cover:

Aldibro Rizlan Widyanov

Uk. 15,5 cm x 23 cm (x + 230 hlm)

ISBN: 978-979-097-923-9



diterbitkan oleh :

**UNDIP PRESS
SEMARANG**

Anggota APPTI 003.151.1.3.2022

Anggota IKAPI 246/Anggota Luar Biasa/JTE/2022

Edisi pertama

© Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas
Diponegoro 2022

Tidak ada bagian dari publikasi ini yang boleh direproduksi atau disebarluaskan dalam bentuk apa pun atau dengan cara apa pun (secara elektronik, fotokopi, rekaman, atau bentuk lainnya) tanpa izin tertulis sebelumnya dari penerbit.

*Izin dapat diminta langsung dari Departemen Teknik Industri,
Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, SH., Tembalang, Semarang 50275; telp./fax: (024)
7460052; e-mail: industri@ft.undip.ac.id*

Katalog publikasi ini tersedia di Perpustakaan Nasional Republik Indonesia

KATA SAMBUTAN

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.
Salam sejahtera bagi kita semua.*

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua sehingga pada usia 24 tahun, Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Diponegoro telah menorehkan banyak capaian prestasi dan akan terus menghasilkan berbagai karya sebagai sumbangsih dalam pembangunan bangsa terutama di bidang pendidikan.

Departemen Teknik Industri selalu berupaya menciptakan suasana akademik yang kental terutama antara dosen dan mahasiswa. Buku bunga rampai ini adalah cerminan dari suasana akademik tersebut di mana di dalamnya memuat berbagai riset dan pemikiran-pemikiran tentang bidang keilmuan teknik industri dalam penerapannya di industri manufaktur maupun jasa. Penulis juga bervariasi dari dosen, mahasiswa, kalangan industri dan juga alumni serta kolega dari universitas lain. Departemen Teknik Industri mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh penulis dan editor yang berkontribusi dalam penyelesaian buku bunga rampai ini. Terima kasih juga kepada seluruh pihak yang selalu mendukung kemajuan Departemen Teknik Industri, seperti: Majelis Departemen Teknik Industri, Ikatan Alumni Teknik Industri (IKATI), mitra industri, berbagai lembaga profesi keteknik-industrian, para pimpinan Fakultas Teknik, dan Universitas Diponegoro.

Buku ini disusun sebagai *tribute* kepada Dr. Ir. Bambang Purwanggono Sukarsono, M.Eng., yang telah selama lebih dari 24 tahun mengabdikan diri sebagai dosen dan juga sebagai salah satu pendiri dari Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro pada 23 Februari 1998. Semoga kami sebagai

penerus dapat mewujudkan cita-cita beliau untuk menjadikan Departemen Teknik Industri dikenal luas di kancah nasional dan internasional. Semoga buku ini bisa menjadi satu kenangan yang berharga untuk beliau. Semoga buku ini juga memberi manfaat kepada para pembaca untuk lebih mengerti betapa luas bidang kajian teknik industri yang seringkali beririsan dengan bidang ilmu lainnya sebagai pendekatan multidisiplin.

Perjalanan Departemen Teknik Industri ke depan masih panjang, dengan semangat, kerja keras dan kerja cerdas seluruh dosen, tenaga kependidikan, dan adik adik mahasiswa dalam bingkai kebersamaan, persaudaraan dan saling asah, asih, dan asuh, maka semua rintangan akan dapat dihadapi. Berbagai perkembangan yang terjadi di bidang teknologi memberi banyak peluang bagi kita untuk terus berinovasi, menciptakan kinerja yang lebih baik, lebih efektif dan efisien.

“There is always a better way”

Selamat berkarya.

TI Kompak

TI Hebat

TI Jaya

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Semarang, 19 April 2022,
17 Ramadhan 1443 H

Dr. Ratna Purwaningsih
Ketua Departemen Teknik Industri
Universitas Diponegoro

KATA SAMBUTAN

Dr. Bambang Purwanggono adalah sosok seorang guru yang *humble*, yang banyak berkiprah, baik di dalam maupun di luar institusi. Beliau merupakan salah satu pendiri Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Memiliki kepakaran dibidang standar dan kualitas, beliau selalu berperan aktif pada proses pengembangan ilmu yang terkait dengan dunia praktik di lapangan. Beliau juga banyak dipercaya serta terlibat dalam beberapa organisasi serta asosiasi, misalnya sebagai Ketua FORSTAN (Forum Pendidikan Standardisasi Indonesia), Ketua the *International Cooperation for Education about Standardization* (ICES), Ketua MASTAN Jawa Tengah serta Masyarakat Standardisasi.

Keterlibatan beliau dalam organisasi tersebut membuktikan kemampuan beliau untuk berinteraksi dan berkontribusi dalam memajukan industri serta ilmu pengetahuan terkait. Beliau betul-betul mengimplementasikan Tri Dharma Perguruan Tinggi dengan maksimal sebagai seorang pengajar yang mengajarkan ilmu yang dimiliki. Semoga Dr. Bambang Purwanggono bisa terus menginspirasi generasi di bawahnya, tetap sehat dan terus berproses menjadi insan yang lebih bijaksana sehingga kerja keras beliau selama ini menjadi amal ibadah. Amin.

Semarang, 28 April 2022,

Prof. M. Agung Wibowo, Ph.D.
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro

EDITORIAL

Tujuan dari penerbitan bunga rampai (*edited book/edited volume*) yang berjudul “*Several Perspectives in Industrial Engineering*” adalah untuk memuat berbagai penelitian dan pemikiran-pemikiran ilmiah yang dilihat dari sudut pandang keteknik-industrian. Bunga rampai Volume I ini khusus dipersembahkan kepada Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono, seorang dosen, pengajar, dan guru di Departemen Teknik Industri, Universitas Diponegoro, yang telah mengabdikan diri selama tiga puluh enam tahun.

Terdapat sembilan belas artikel yang dimuat pada volume ini. Bunga rampai ini diawali dengan artikel dari Dr. Heru Prastawa yang mencoba memberikan kesaksian mengenai perjalanan Dr. Bambang dan perannya dalam dunia akademis. Pada bagian awal berisi artikel yang berkaitan dengan sistem produksi manufaktur, yang merupakan “area pertama” yang digeluti Dr. Bambang pada awal berdirinya Teknik Industri. Bagian kedua memuat artikel yang berkaitan dengan manajemen kualitas dan standardisasi, yang bisa dikatakan adalah “area kedua” dari perjalanan akademis Dr. Bambang. Beliau pernah menjadi tim penyusun buku teks “Pengantar Standardisasi” yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional pada tahun 2009 dan menjadi literatur utama pada Mata Kuliah Standardisasi. Selain itu, Dr. Bambang juga pernah menjadi Ketua Dewan Pengurus Wilayah Jawa Tengah Masyarakat Standardisasi periode 2010–2014. Bagian selanjutnya memuat artikel pada area manajemen inovasi, yang merupakan “area paripurna” Dr. Bambang, di mana disertasi beliau berada pada area ini. Tidak hanya itu, bunga rampai ini juga memuat artikel-artikel pada bidang lain yang masih terkait

dengan disiplin ilmu teknik industri, seperti pengukuran performansi dan manajemen rantai pasok.

Terakhir, kami selaku editor mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terealisasinya bunga rampai ini; dan juga kepada Dr. Bambang atas dedikasinya selama ini di ranah akademis. Semoga buku ini bisa menjadi satu kenangan manis dan berharga untuk beliau; dan juga memberi manfaat kepada para pembaca.

Terima kasih Pak Bambang.

M. Mujiya Ulkhaq
Departemen Teknik Industri
Universitas Diponegoro

DAFTAR ISI

Sambutan	
Ketua Departemen Teknik Industri	iii
Dekan Fakultas Teknik.....	v
Editorial	vi
Daftar Isi	vii
Sistem produksi, kualitas-standarisasi dan R&D: Pergulatan keilmuan dan peran seorang Bambang Purwanggono	
<i>H. Prastawa</i>	1
Pengambilan keputusan berbasis kinerja dalam perawatan mesin industri	
<i>T. Warsokusumo</i>	9
Sustainable-VSM: Evaluasi kinerja keberlanjutan dengan pendekatan lean manufacturing	
<i>S. Hartini</i>	35
Implementasi lean manufacturing untuk mereduksi pemborosan pada proses produksi Mesin Hydrotiller	
<i>D. Rahmadani</i>	47
Penerapan lean manufacturing yang menguntungkan sebuah organisasi	
<i>A. Az Zahraa</i>	61
The effect of mixture composition on the characteristics of briquette products from tea aaste: A systematic literature review	
<i>E. Setiawan, Rahmatullah, M. K. C. Putro</i>	69
Analisis QC trade insurance PT Asuransi Asei dengan risk management saat pandemi	
<i>A. Fachreza, N. U. Handayani</i>	87

Standardisasi untuk masa depan berkelanjutan <i>I. P. Sari</i>	97
Design for smart quality: Strategy meraih keunggulan bersaing di era Industri 4.0 <i>R. Sukwadi, C.-C. Yang, R. M. Silitonga, Y.-T. Jou, M.-C. Lin</i>	105
Analisis manajemen risiko pada proyek database server hardware PT X menggunakan metode HOR <i>A. Fachreza, B. P. Sukarsono</i>	113
Penerapan pendidikan standar dan standardisasi di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro <i>M. Alifian, A. Bakhtiar, C. A. P. Hapsari</i>	121
Perancangan standard operating procedure berdasarkan ISO 9001:2015 pada Laboratorium Sistem Produksi Teknik Industri Universitas Diponegoro <i>R. D. Lubis, S. Saptadi, Y. Widharto</i>	135
Optimasi rute pengiriman produk dengan perhitungan MILP untuk MTRVP with time windows <i>A. A. Qadarullah</i>	141
Penerapan strategic purchasing melalui peningkatan kemampuan personil dan dampaknya terhadap kinerja keuangan <i>B. M. I. Simanjuntak, H. Suliantoro</i>	151
Penelitian pemetaan SCOR - Penggunaan risk management, analisis kinerja rantai pasok <i>A. Fachreza, A. Susanty</i>	165
Pengembangan indikator penilaian keberlanjutan pariwisata budaya <i>F. Agusti, R. Purwaningsih, B. P. Sukarsono, F. Azzahra</i>	177

Perancangan model pemilihan supplier yang mempertimbangkan sustainability (Studi kasus: CV Intan Karya Mandiri)
P. A. Wicaksono, R. Yasmin, C. A. P. Hapsari 195

Optimalisasi pelayanan dengan penerapan lean service
A. Bakhtiar, Widhiyaningrum 209

Efisiensi vs. efektivitas
M. M. Ulkhaq 215

Lampiran

SEVERAL PERSPECTIVES IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Volume I : A Tribute to Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono



Beliau dosen yg tinggalnya paling dekat dengan rumah saya..pun merupakan Ayah dari teman SD saya.. Selamat memasuki masa purna bakti..semoga sehat selalu dan terimakasih atas bimbingan yang telah diberikan..
Terimakasih

Rizky Jati Nugroho
Alumni Teknik Industri 2002

Pak Bambang adalah long-life learning dosen yang menjadi role model bagi saya dan rekan- rekan '99, beliau mengajarkan ketangguhan, kerja keras dan tanggung jawab bagi kami untuk menyelesaikan studi dan menjadi karakter yang sukses dengan caranya masing-masing
Semoga pak Bambang sehat selalu, sukses dan bahagia dalam memasuki masa purnabakti

Vino Harsaditya Saputra
Alumni Teknik Industri 1999

Pak Bambang telah menjadi teladan bagi saya sebagai dosen yang mampu menjalin kerjasama strategis dengan stakeholder. Beliau sangat baik dengan sering mengajak saya membantu program-program beliau di Teknik maupun International O! ce

Buna Rizal Rachman
Alumni Teknik Industri 2006

Pak Bambang adalah seorang karismatik leader yg membawa TI UNDIP ke arah yang semakin maju dan terus berkembang hingga saat ini...

Terima kasih Pak Bambang..

Happy retirement Pak, wishing you wonderful days after retirement!!
Your influence on our lives can never die down..

Andita Wiwaha
Alumni Teknik Industri 2001



diterbitkan oleh :
**UNDIP PRESS
SEMARANG**



ISBN 978-979-097-923-9



9 789790 979239

Sustainable-VSM: Evaluasi Kinerja Keberlanjutan dengan Pendekatan Lean Manufacturing

Sri Hartini

Departemen Teknik Industri, Universitas Diponegoro, Semarang,
Indonesia

E-mail: srihartini@lecturer.undip.ac.id

Pendahuluan

Perusahaan di berbagai sektor yang mengadopsi *lean manufacturing* (LM) dalam beberapa dekade terakhir mampu memperbaiki hasil dan daya saing (Moyano-Fuentes et al., 2012). Hal ini dikuatkan oleh pernyataan Sangwan et al. (2014) bahwa LM terbukti mampu meningkatkan kinerja operasional. Namun daya saing cenderung tidak bertahan dalam jangka panjang (Lucey et al., 2005). LM belum melibatkan isu-isu lingkungan (Martínez-Jurado & Moyano-Fuentes, 2014) sehingga belum mengantisipasi tuntutan yang terkait dengan lingkungan. Di sisi lain, *green manufacturing* lahir sebagai konsep manufaktur yang mempertimbangkan isu keberlanjutan dengan meminimasi dampak negatif manufaktur terhadap lingkungan (Dornfeld et al., 2013). Perusahaan yang menerapkan *lean* dan dengan mempertimbangkan indikator

Cite this chapter (APA):

Hartini, S. (2022). Sustainable-VSM: Evaluasi kinerja keberlanjutan dengan pendekatan lean manufacturing. In M. M. Ulkhaq, C. A. P. Hapsari, & F. Azzahra (Eds.), *Several Perspectives in Industrial Engineering. Volume I: A Tribute to Dr. Bambang Purwanggono Sukarsono* (pp. 51-67). Undip Press.

lingkungan secara bersamaan, terbukti secara empiris mempunyai kinerja yang lebih baik dibanding ketika hanya menerapkan *lean* atau *green manufacturing* saja (Wiengarten et al., 2013). Penerapan teknik LM akan memicu pencapaian *green* dan sebaliknya. Misalnya, upaya mereduksi *defect* dapat meningkatkan kualitas dan mereduksi biaya produksi dalam perspektif *lean*, di sisi lain akan mereduksi limbah pada lingkungan. Sebaliknya, penggunaan kembali kemasan (*returnable packaging*) sebagai salah satu teknik dalam *green manufacturing* bisa memicu efisiensi penggunaan material dan mereduksi biaya sebagai salah satu tujuan LM. *Lean* dan *green* sangat potensial untuk diintegrasikan dalam mencapai kinerja yang maksimal (Bhattacharya et al., 2019). Kajian terdahulu mengindikasikan bahwa integrasi *lean* dan *green* mampu meningkatkan kinerja operasional, ekonomi dan lingkungan (Hartini & Ciptomulyono, 2015; Wu et al., 2015).

LM menggunakan *value stream mapping* (VSM) sebagai alat analisis sistem yang efektif untuk mendiagnosis permasalahan sistem manufaktur dan mengidentifikasi peluang perbaikan (Dadashnejad & Valmohammadi, 2019). VSM memotret aliran material, informasi dan pengambilan keputusan perusahaan (Ben Fredj-Ben Alaya, 2016; Seth et al., 2017) sehingga mampu mengidentifikasi aktivitas yang menambah nilai dan tidak menambah nilai. Aktivitas yang tidak menambah nilai menjadi dasar dalam melakukan perbaikan dan mendesain ulang sistem manufaktur (Lasa et al., 2009; Aguado et al., 2013; Ben Ruben et al., 2019). VSM mendiagnosis kinerja operasional diantaranya tingkat efisiensi waktu, cacat produk, produktivitas dan persediaan. Namun, VSM belum mengevaluasi aktivitas yang mempertimbangkan isu lingkungan dan sosial (Faulkner & Badurdeen, 2014). Indikator lingkungan mulai ditambahkan dalam VSM (*Environment-VSM/E-VSM*) oleh Simons & Mason

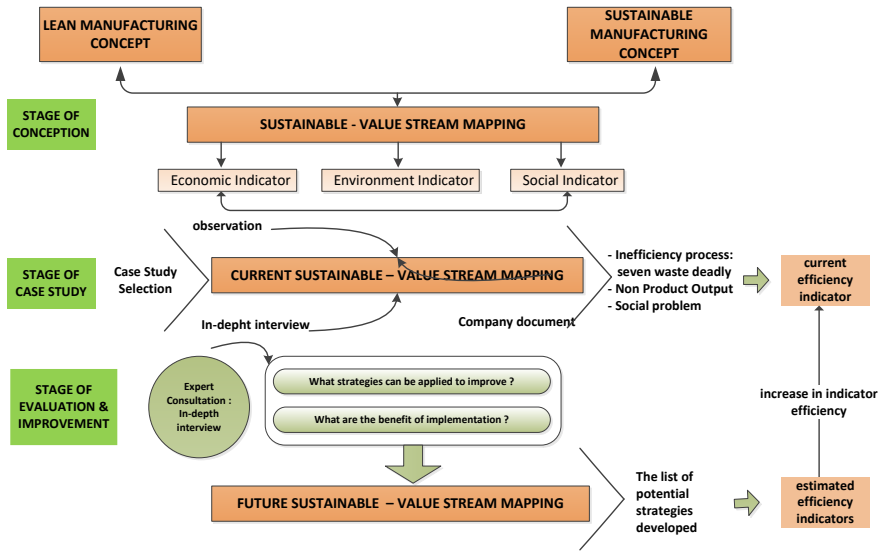
(2003) yang kemudian diikuti oleh peneliti lainnya. Faulkner & Badurdeen (2014) mengembangkan *Sustainable-VSM* dengan menambah indikator sosial secara visual dalam VSM. *Sustainable-VSM* divalidasi oleh Brown et al. (2014) dengan mengambil kasus di beberapa perusahaan. Hasil review menunjukkan bahwa *Sustainable-VSM* dapat menjadi alat analisis dalam rangka meningkatkan kinerja ekonomi, lingkungan dan sosial. Namun, *Sustainable-VSM* masih memiliki beberapa keterbatasan. Keterbatasan *Sustainable-VSM* terletak pada konten, lingkup evaluasi dan hasil evaluasi belum bisa merefleksikan kinerja perusahaan (Hartini et al., 2017).

Hartini et al (2017) telah mengembangkan model berbasis LM dengan mempertimbangkan indikator keberlanjutan sehingga mampu merefleksikan kinerja dari indikator keberlanjutan dengan pendekatan efisiensi. Artikel ini mencoba memaparkan hasil studi kasus model yang dikembangkan di beberapa perusahaan manufaktur.

Pembahasan

Kajian mengenai penerapan *Lean Manufacturing* dengan mempertimbangkan indikator keberlanjutan dikembangkan dengan metodologi seperti yang dijelaskan pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan melakukan pemilihan indikator yang relevan dengan karakteristik perusahaan. Langkah selanjutnya mengembangkan model pengukuran kinerja dengan menggunakan efisiensi untuk setiap indikator yang terpilih. Kemudian dilakukan langkah pengukuran dan merancang *Current-VSM*. Evaluasi dan rekomendasi perbaikan dilakukan terutama pada indikator dengan kinerja belum maksimal. Hasil rancangan perbaikan divisualisasikan dalam *Future-VSM*.

Beberapa kajian telah dilakukan di perusahaan mebel (Hartini et al., 2020), perusahaan batik (Hartini et al., 2021) dan perusahaan pakan ternak (Hartini et al., 2021).



Gambar 1. Model Konseptual Penerapan *Lean Manufacturing* dengan Mempertimbangkan Indikator Keberlanjutan (Putri et al., 2021)

Pemilihan Indikator Relevan

Pemilihan indikator yang relevan pada indikator yang dilibatkan dalam rangka melakukan perbaikan. Pemilihan indikator pada perusahaan mebel menggunakan metode Delphi dengan melibatkan beberapa pakar mebel. Tahap ini berhasil menemukan 11 indikator yang relevan, yaitu efisiensi waktu, biaya, kualitas, persediaan, konsumsi material, konsumsi energi, kepuasan tenaga kerja, kesehatan tenaga kerja, keselamatan, dan peningkatan sumber daya tenaga kerja (Hartini et al., 2020). Karena perusahaan mempunyai karakteristik yang berbeda, maka tahap ini juga dilakukan pada perusahaan batik dan pakan

ternak. Hanya saja, lingkup responden terbatas pada perusahaan. Pada perusahaan batik, ditemukan 12 indikator. Indikator yang relevan dengan perusahaan batik relatif sama dengan mebel, yang membedakan pada indikator *green production*. *Green production* dibutuhkan karena proses batik menggunakan bahan kimia untuk beberapa aktivitasnya (Hartini et al., 2021). Sedangkan pada perusahaan pakan ternak, indikator yang dipertimbangkan adalah efisiensi waktu, biaya, kualitas, konsumsi energi, konsumsi air, konsumsi material, PLI, keselamatan kerja, dan tingkat kebisingan (Putri et al., 2021).

Pengukuran Indikator

Setelah indikator yang relevan ditentukan, maka tahap berikutnya adalah merumuskan penilaian kinerja dengan menggunakan pendekatan efisiensi. Indikator, rumusan dan hasil kinerjanya dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Hasil visualisasi pada *Sustainable-VSM* pada perusahaan mebel dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Indikator, Rumusan dan Hasil Kinerja Perusahaan Mebel

No	Indikator	Input	Formula	Nilai
1	<i>Time Efficiency</i> (TE)	TE : <i>Time efficiency</i> VAT : <i>Value added time</i> TT : <i>Total time</i> : <i>Non- value added time</i> n : <i>Process to n</i>	TE = VAT/TT VAT = $\sum_{i=1}^n (VATi)$ NVAT = $\sum_{i=1}^n (NVATi)$ TT = VAT + NVAT	0,82
2	<i>Inventory efficiency</i> (NI)	NI : <i>Number of inventory</i> TM : <i>Total material</i>	IE = NI/TM	0,77

3	Quality efficiency (QE)	ND : Number of defect TM : Total material	QE = 1 - ND/TM	0,40
4	Cost efficiency (CE)	CE : Cost efficiency VAC : Value added cost NVAC : Non-value added cost TC : Total cost n : Activity to n	CE = VAC/TC VAC = $\sum_{i=1}^n (VACi)$ NVAC = $\sum_{i=1}^n (NVACi)$ TC = VAC + NVAC	0,61
5	Material efficiency (ME)	ME : Efficiency material VAM : Value added material TM : Total material used : Non-value added material n : Material to n	ME =VAM/TM VAM = $\sum_{i=1}^n (VAMi)$ NVAM = $\sum_{i=1}^n (NVAMi)$ TM = VAM + NVAM	0,55
6	Energy efficiency (EE)	EE : Energy efficiency VAE : Value added energy : Non-value added energy ET : Energy total n : Activity to n	EE = VAE/TE VAE = $\sum_{i=1}^n (VAEi)$ NVAE = $\sum_{i=1}^n (NVAEi)$ TE = VAM + NVAM	100
7	Efficiency of waste recycling	TW : Total waste : Number of waste to landfill	WE = 1 - WL/TW	0,29
8	Satisfaction level	: Number of employee turnover : Number of employee	SE = 1 - TO/NE	0,90
9	Health level	: Number of employees absent : Number of employee	HE = 1 - NA/NE	0,85
10	Risk of Safety level	: Number of activity with risk Nac : Number of activity	RE = 1 - NR/Nac	0,60

11	<i>Employee training level</i>	: <i>Number of employee training</i> NE : <i>Number of employee</i>	$E_HRD = NT/NE$	0,10
----	--------------------------------	--	------------------	------

Tabel 2. Indikator, Rumusan, dan Hasil Kinerja Perusahaan Batik

No	Indikator	Pemetaan	Nilai
1	<i>Time</i>	$\frac{\text{Value added time}}{\text{Cycle time}}$	0,86
2	<i>Quality</i>	$\frac{\text{Number of inputs} - \text{number of rejects}}{\text{Number of inputs}}$	1,00
3	<i>Inventory</i>	$\frac{\text{Value added time}}{\text{Value added time} + \text{Inventory time}}$	0,64
4	<i>Cost</i>	$\frac{\text{Value added cost}}{\text{Total cost}}$	0,83
5	<i>Green production</i>	$\frac{\text{Quantity of green raw material}}{\text{Quantity of raw material}}$	0,35
6	<i>Water consumption</i>	$\frac{\text{Ideal amount of water consumption}}{\text{Total amount of water consumption}}$	0,82
7	<i>Material waste</i>	$\frac{\text{Total amount of waste}}{\text{Total amount of input}}$	0,63
8	<i>Recovered waste</i>	$\frac{\text{Amount of waste recovered}}{\text{Total waste}}$	0
9	<i>Satisfaction Level</i>	$\frac{\text{Number of employees} - \text{number of resign}}{\text{Number of employees}}$	0,99
10	<i>Health level</i>	$\frac{\text{Number of employees} - \text{number of absent}}{\text{Number of employees}}$	0,97
11	<i>Employee training level</i>	$\frac{\text{Jumlah pegawai yang training}}{\text{Jumlah pegawai}}$	0,00
12	<i>Risk of Safety level</i>	Tabel resiko kerja	0,63

Kinerja Menggunakan Pendekatan *Lean Manufacture* dengan Indikator Keberlanjutan

Meskipun pengembangan *Sustainable-VSM* berkelanjutan tidak sepenuhnya praktis, *Sustainable-VSM* memuat aliran

material dan aliran proses produksi. Dengan adanya indikator yang relevan di dalam VSM, aktivitas yang tidak bernilai tambah dan proses yang tidak efisien dapat diidentifikasi. Skoring indikator dalam VSM dengan pendekatan efisiensi menghasilkan nilai yang objektif. *Sustainable-VSM* dapat menunjukkan adanya *value-added activity* dan *non-value added activity* di semua tahap. Hasil ini menegaskan penelitian sebelumnya bahwa VSM dapat mengevaluasi kinerja keberlanjutan pada aspek lingkungan dan sosial dari lini manufaktur, selain kinerja ekonomi (Faulkner & Badurdeen, 2014; Vinodh et al., 2016; Haupt & Hellweg, 2019; Helleno et al., 2017). Kekuatan penelitian ini adalah indikator-indikator yang terlibat dipilih oleh praktisi ahli dari industri terkait dan diukur kinerjanya dalam setiap proses dengan pendekatan efisiensi.

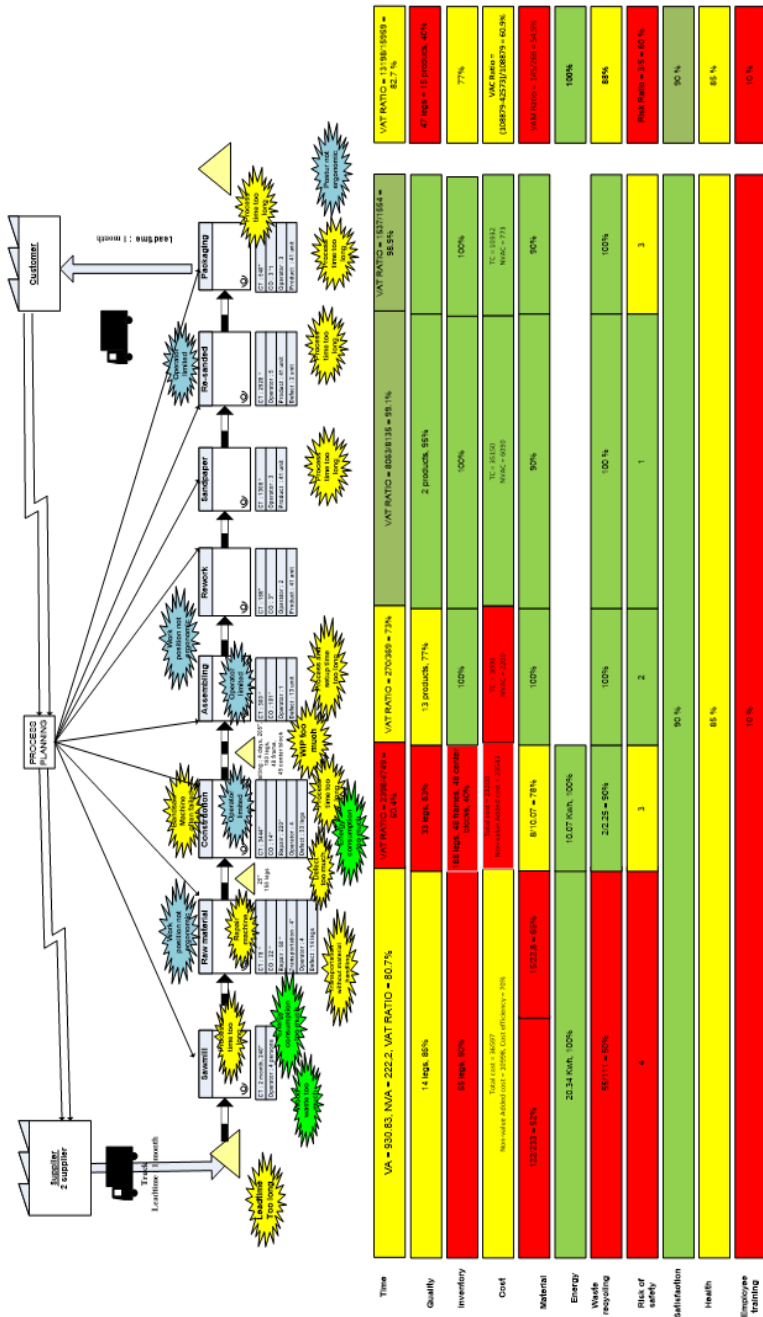
Tabel 3. Indikator, Rumusan, dan Hasil Kinerja di Pakan Ternak

No	Indikator	Input	Formula	Nilai
1	<i>Time (TE)</i>	<i>VAT</i> : <i>Value added time</i> <i>NVAT</i> : <i>Non-value added time</i> <i>TT</i> : <i>Total time</i>	$TE = VAT/TT$ $VAT = \sum_{i=1}^n (VAT_i)$ $NVAT = \sum_{i=1}^n (NVAT_i)$ $TT = VAT + NVAT$	0,83
2	<i>Cost (CE)</i>	<i>VAC</i> : <i>Value added cost</i> <i>NVAC</i> : <i>Non-value added cost</i> <i>TC</i> : <i>Total cost</i>	$CE = VAC/TC$ $VAC = \sum_{i=1}^n (VAC_i)$ $NVAC = \sum_{i=1}^n (NVAC_i)$ $TC = VAC + NVAC$	0,84

3	Quality (QE)	<i>ND</i> : <i>Number of defects</i> <i>TM</i> : <i>Total material</i> <i>QE</i> : <i>Quality efficiency</i>	$QE = 1 - ND / TM$	0,99
4	Energy Consumption (EE)	<i>VAE</i> : <i>Value added energy</i> <i>NVAE</i> : <i>Non value added energy</i> <i>TE</i> : <i>Total energy</i>	$EE = VAE / TE$ $VAE = \sum_{i=1}^n (VAE_i)$ $NVAE = \sum_{i=1}^n (NVAE_i)$ $TE = VAE + NVAE$	0,87
5	Water Consumption (WE)	<i>VAW</i> : <i>Value added water</i> <i>NVAW</i> : <i>Non-value added water</i> <i>TW</i> : <i>Total water</i>	$WE = VAW / TW$ $VAW = \sum_{i=1}^n (VAW_i)$ $NVAW = \sum_{i=1}^n (NVAW_i)$ $TW = VAW + NVAW$	0,90
6	Material Consumption (ME)	<i>VAM</i> : <i>Value added material</i> <i>NVAM</i> : <i>Non-value added material</i> <i>TM</i> : <i>Total material</i>	$ME = VAM / TM$ $VAM = \sum_{i=1}^n (VAM_i)$ $NVAM = \sum_{i=1}^n (NVAM_i)$ $TM = VAM + NVAM$	0,99
7	Physical Load Index (PLI)	<i>RC</i> : <i>Relative contribution</i>	$RC = \frac{PLIS_i}{\sum_{i=1}^n PLIS_i} \times 100$	3 - 21

8	<i>Work Risk (RE)</i>	<i>NR : Number of activity with risk</i> <i>Nac : Number of activity</i>	$RE = 1 - NR/Nac$	Bahan kimia 1; Kecepatan tinggi 0,67
9	<i>Noise</i>	<i>ND : Noise dosage</i> <i>MET : Maximum exposure time</i> <i>AT : Actual time</i>	$ND = (AT/MET) \times 100\%$	85 – 93 dB

Studi kasus model di perusahaan mebel menemukan bahwa banyak inefisiensi terjadi terutama pada proses persiapan bahan dan konstruksi. Berdasarkan hasil *Sustainable-VSM*, rekomendasi perbaikan dapat lebih terarah. Dalam kasus di perusahaan mebel tersebut, indikator-indikator yang perlu diperbaiki adalah indikator waktu, biaya, kualitas, persediaan, konsumsi material, keselamatan, kesehatan dan pelatihan pekerja. Rekomendasi untuk peningkatan kinerja dapat dilakukan dengan menerapkan 5S, *Total Productive Maintenance (TPM)*, pelatihan operator mesin, pengendalian kualitas terutama pada proses pembahanan, perbaikan kondisi lingkungan kerja yang ergonomis dan pelatihan K3 dapat mengurangi resiko kecelakaan. Secara eksternal perlu dibangun kerjasama antara asosiasi perusahaan mebel dan asosiasi pemasok kayu, kebijakan pemerintah untuk mengatur stabilitas perdagangan kayu, berbagi pengetahuan tentang budidaya kayu industri yang baik di masyarakat, mengajak masyarakat untuk menanam lebih banyak pohon industri sebagai pemasok alter-



Gambar 2. Sustainable-VSM di Perusahaan Mebel (Hartini et al., 2020)

natif, memanfaatkan limbah kayu menjadi produk yang lebih bernilai bekerjasama dengan perusahaan kerajinan.

Studi kasus model di perusahaan pakan ternak oleh Putri et al., (2021) menemukan bahwa kinerja aspek ekonomi dan lingkungan dikategorikan sangat baik, tetapi dimensi sosial dikategorikan sedang karena kondisi kerja yang buruk. Rekomendasi untuk meningkatkan kinerja keberlanjutan dalam proses produksi berdasarkan *Sustainable-VSM* saat ini adalah mengurangi waktu tunggu dan memperbaiki kondisi lingkungan kerja.

Studi kasus di perusahaan batik pewarna alam telah mampu mengidentifikasi sumber masalah yang terjadi. Aktivitas yang tidak efisien terjadi hampir sepanjang proses. Kajian ini memberikan rekomendasi 3R (*reduce, reuse* dan *recycle*) untuk meningkatkan efisiensi dari dimensi ekonomi dan lingkungan. Rekomendasi perbaikan dilakukan dengan mengurangi waktu *setup* dan waktu transportasi dengan memperbaiki lingkungan kerja dengan 5S dan penggunaan peralatan *material handling*. Penggunaan kembali (*reuse*) dilakukan dengan menggunakan kembali lilin dengan menggunakan gondorukem, sehingga mengurangi konsumsi material dan meningkatkan daur ulang limbah yang diperoleh kembali. Daur ulang dilakukan dengan mengolah air limbah sehingga mengurangi konsumsi air. Pada akhirnya, pengurangan waktu dan material berdampak pada pengurangan biaya produksi. Kinerja dimensi sosial ditingkatkan dengan perbaikan lingkungan kerja, kesadaran karyawan dalam menggunakan alat pelindung diri dan peningkatan program pelatihan.

Penutup

Prinsip dasar LM adalah perbaikan terus-menerus. Kajian ini memberikan pemaha-man yang lebih baik kepada akademisi

dan praktisi dalam menyempurnakan dan mengukur indikator spesifik untuk aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial di tingkat pabrik dengan cara yang praktis. Model dapat diterapkan pada perusahaan dengan karakteristik yang berbeda dengan menyesuaikan indikator yang relevan. Pihak manajer mendapatkan metode yang praktis dan operasional untuk memahami manufaktur berkelanjutan dan menerapkannya ke lini produksi. Dengan demikian, pihak manajer mendapatkan arah dalam membuat keputusan dalam meningkatkan kinerja keberlanjutan manufaktur.

Dalam hal nilai teoretisnya, pengembangan model ini melengkapi penelitian sebelumnya yang dilakukan dalam indikator keberlanjutan manufaktur dan LM untuk menilai proses manufaktur di tingkat pabrik (Faulkner & Badurdeen, 2014; Helleno et al., 2017; Huang & Badurdeen, 2018). Mengingat kelangkaannya penelitian sebelumnya tentang penggunaan VSM untuk penilaian kinerja keberlanjutan, dengan mempertimbangkan indikator yang relevan dengan jenis industri, ini memberikan petunjuk menarik untuk pekerjaan teoretis lebih lanjut.

Keterbatasan metode yang digunakan dalam penelitian ini terkait dengan penggunaan metode Delphi dan pemilihan kelompok penelitian. Metode Delphi bukanlah alat pengambilan keputusan, ini hanya membantu dalam analisis yang lebih akurat dari pemilihan indikator keberlanjutan yang relevan. Oleh karena itu, keputusan pemilihan indikator dilakukan dengan *joint cut-off* WA dan LC yang ditetapkan secara subyektif. Keterbatasan penelitian ini adalah jumlah perusahaan untuk studi kasus. Studi kasus ini hanya mengevaluasi kemampuan kerja model. Studi lebih lanjut untuk menerapkan metode yang diusulkan ke lebih banyak studi kasus untuk berbagai jenis industri manufaktur dapat membantu memvalidasi dan

meningkatkan lebih lanjut. Perlu analisis sensitivitas terhadap indikator yang paling berpengaruh. Serta perlu mempelajari semua tahap siklus hidup produk untuk penilaian kinerja yang lebih komprehensif.

Kesan Pesan

Di mata saya, Pak Bambang merupakan sosok dengan karakter *leadership* yang sangat kuat. Sistematis, *visioner*, objektif dalam pengambilan keputusan dan seorang negosiator yang ulung. Sebagai seorang junior yang pernah menjadi asistennya, saya sangat terkesan dengan cara penyampaian beliau yang mudah dipahami. Saya bersyukur pernah menjadi sekretarisnya ketika beliau menjadi ketua jurusan, saya banyak belajar bahwa untuk membangun organisasi harus dimulai dari membangun sistemnya. Hubungan beliau yang sangat luas, banyak sekali memberi arti bagi Universitas Diponegoro, terkhusus Jurusan Teknik Industri. Banyak kerjasama dan organisasi yang diinisiasi oleh beliau, nasional maupun internasional. Mastan, mata kuliah Standarisasi, dan lain-lain. Beliau sangat aktif mengembangkan hal yang terkait dengan “Penjaminan Mutu” baik di internal UNDIP maupun eksternal. Bisa dikatakan bahwa pak Bambang adalah Bapak Mutu di UNDIP. Secara pribadi, saya banyak dibantu dalam mendapatkan perusahaan untuk objek penelitian dan mendapatkan responden yang tepat, bagi saya ini merupakan berkah tersendiri. Sebagai seorang senior, beliau sangat memotivasi kolega juniornya untuk terus maju mendapatkan pencapaian yang maksimal. Terimakasih pak Bambang. Tiada kata yang tepat untuk mewakilinya. Hanya doa dan salam hormat yang bisa saya berikan. Semoga Bapak senantiasa diberi kesehatan dan tetap berkarya. Kebaikan dan ilmu Bapak semoga

menjadi sebab turunnya Rahmat dari Allah dan menjadi kunci pembuka pintu surga-Nya. Amin.

Daftar Pustaka

- Aguado, S., Alvarez, R., & Domingo, R. (2013). Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production*, 47, 141–148.
- Ben Fredj-Ben Alaya, L. (2016). VSM a powerful diagnostic and planning tool for a successful Lean implementation: A Tunisian case study of an auto parts manufacturing firm. *Production Planning and Control*, 27(7–8), 563–578.
- Ben Ruben, R., Vinodh, S., & Asokan, P. (2019). State of art perspectives of lean and sustainable manufacturing. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 234-256.
- Bhattacharya, A., Nand, A., & Castka, P. (2019). Lean-green integration and its impact on sustainability performance: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 117697.
- Brown, A., Amundson, J., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies. *Journal of Cleaner Production*, 85, 164–179.
- Dadashnejad, A. A., & Valmohammadi, C. (2019). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipment effectiveness: a case study. *Total Quality Management and Business Excellence*, 30(3–4), 466–482.
- Dornfeld, D., Yuan, C., Diaz-Elsayed, N., Zhang, T., & Vijayaraghavan, A. (2013). *Green Manufacturing*. Springer.
- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM): methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 85, 8–18.
- Hartini, S., & Ciptomulyono, U. (2015). The Relationship between Lean and Sustainable Manufacturing on Performance:

- Literature Review. *Procedia Manufacturing*, 4(Iess), 38–45.
- Hartini, S., Ciptomulyono, U., & Anityasari, M. (2017). Extended Value Stream Mapping to Enhance Sustainability: A Literature Review. *3rd International Materials, Industrial and Manufacturing Engineering Conference (MIMEC2017)*, 1902.
- Hartini, S., Ciptomulyono, U., Anityasari, M., & Sriyanto. (2020). Manufacturing sustainability assessment using a lean manufacturing tool A case study in the Indonesian wooden. *International Journal of Lean Six Sigma*.
- Haupt, M., & Hellweg, S. (2019). Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1–2, 100005.
- Helleno, A. L., de Moraes, A. J. I., & Simon, A. T. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. *Journal of Cleaner Production*, 153, 405–416.
- Hartini, S., Manurung, J., & Rumita, R. (2021). Sustainable-value stream mapping to improve manufacturing sustainability performance: Case study in a natural dye batik SME's *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
- Huang, A., & Badurdeen, F. (2018). Metrics-based Approach to Evaluate Sustainable Manufacturing Performance at the Production Line and Plant Levels. *Journal of Cleaner Production*.
- Lasa, S. I., Castro, R. De, & Laburu, C. O. (2009). Extent of the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application. *Production Planning & Control*, 20(1), 82–98.
- Lucey, J., Bateman, N., & Hines, P. (2005). Why major lean transitions have not been sustained. *Management Services*, 49(2), 9–13.
- Martínez-Jurado, P. J., & Moyano-Fuentes, J. (2014). Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134–150.

- Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., & Martínez-Jurado, P. J. (2012). Cooperation in the supply chain and lean production adoption: Evidence from the Spanish automotive industry. *International Journal of Operations and Production Management*, 32(9), 1075–1096.
- Putri, A. A. A., Hartini, S., & Purwaningsih, R. (2021). Sustainable value stream mapping design to improve sustainability performance of animal feed production process. *Evergreen*, 8(1), 107–116.
- Sangwan, K. S., Bhamu, J., & Mehta, D. (2014). Development of lean manufacturing implementation drivers for Indian ceramic industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(5), 569–587.
- Seth, D., Seth, N., & Dhariwal, P. (2017). Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. *Production Planning & Control*, 28(5), 398–419.
- Simons, D., & Mason, R. (2003). Firms are under pressure to prove their environmental credentials . Now a win-win way of weaving ‘ green ’ considerations into business decisions is emerging Lean and green : ‘ doing more with less.’ *Ecr*, 84–91.
- Vinodh, S., Ruben, R. B., & Asokan, P. (2016). Life cycle assessment integrated value stream mapping framework to ensure sustainable manufacturing : a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18, 279–295.
- Wiengarten, F., Fynes, B., & Onofrei, G. (2013). Exploring synergetic effects between investments in environmental and quality/lean practices in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(2), 148–160.
- Wu, L., Subramanian, N., Abdulrahman, M. D., Liu, C., Lai, K. hung, & Pawar, K. S. (2015). The impact of integrated practices of lean, green, and social management systems on firm sustainability performance-evidence from Chinese fashion auto-parts suppliers. *Sustainability (Switzerland)*, 7(4), 3838–3858.