

## **Green Manufacturing : Kajian Literatur**

**Reni Amaranti<sup>\*1,2)</sup>, Drajad Irianto<sup>2)</sup>, Rajesri Govindaraju<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Jalan Tamansari No.1 Bandung, 40116, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Magister dan Doktor Teknik dan Manajemen Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Gedung Labtek III Lt. 1 Jalan Ganesha 10, Bandung, 40132, Indonesia  
Email: reniamaranti2709@yahoo.com

### **ABSTRAK**

Dunia industri saat ini menghadapi tantangan yang berkaitan dengan isu-isu lingkungan. Kelangkaan sumber daya alam, pemanasan global, manajemen limbah, peraturan yang semakin ketat mengenai aspek lingkungan, serta tuntutan konsumen akan produk yang ramah lingkungan menjadi tantangan yang harus dihadapi dunia industri, disamping persaingan yang semakin ketat dan perubahan lingkungan bisnis yang sangat cepat dan dinamis. Kebutuhan untuk meningkatkan kemampuan bersaing yang lebih tinggi dengan dampak lingkungan yang rendah mendorong industri pada paradigma yang dikenal dengan *Green Manufacturing*. Implementasi *Green Manufacturing* di industri tidak mudah karena berbagai alasan dan belum memberikan dampak yang signifikan terhadap dunia industri terutama di negara-negara berkembang. Makalah ini akan membahas kajian terhadap beberapa makalah hasil penelitian mengenai *Green manufacturing* meliputi pengertian, hubungan dengan *lean manufacturing* dan *sustainable manufacturing*, faktor-faktor pendorong dan penghambat implementasi *Green Manufacturing*, serta praktek *Green manufacturing* di berbagai jenis industri. Kajian literatur ini dapat memberikan pemahaman lebih dalam mengenai *Green Manufacturing* bagi semua pihak terkait, terutama bagi para akademisi, peneliti, dan praktisi di dunia industri.

**Kata kunci:** *Green Manufacturing, Lean Manufacturing, Sustainable manufacturing*

### **1. Pendahuluan**

Pola konsumsi rata-rata masyarakat secara global terus meningkat meskipun pola konsumsi ini berbeda dari daerah ke daerah karena pengaruh faktor budaya, sosial, dan ekonomi lokal. Ini berarti bahwa pertumbuhan manufaktur tidak bisa dihindari (Sangwan dan Mittal, 2015). Globalisasi, jumlah populasi, dan perkembangan teknologi juga mengalami dampak yang sangat besar pada industri manufaktur di seluruh dunia, selain berpengaruh pada persaingan untuk mendapatkan pasar yang semakin ketat, juga pada kebutuhan energi dan sumber daya alam yang lebih besar agar dapat menghasilkan produk yang lebih banyak. Hal ini telah menyebabkan situasi yang sangat mengkhawatirkan karena konsumsi energi dan konsumsi sumber daya alam (bahan baku penting seperti baja, aluminium, tembaga, nikel, seng, kayu, dan bahan baku lainnya yang berasal dari alam) telah meningkat di seluruh dunia. Konsumsi energi oleh sektor industri lima puluh tahun terakhir mencapai setengah dari energi dunia (Ross, 1992 pada Sangwan & Mittal, 2015).

Pesatnya pertumbuhan industri manufaktur juga telah menciptakan banyak masalah ekonomi, lingkungan, dan sosial, diantaranya terjadinya pemanasan global dan masalah lingkungan akibat pembuangan limbah (Sangwan, 2011). Oleh karena itu, isu lingkungan berkaitan dengan kelangkaan sumber daya alam, pemanasan global, pengelolaan limbah, serta aturan-aturan lingkungan yang semakin ketat menjadi tantangan yang harus dihadapi dunia industri disamping persaingan dan perubahan lingkungan bisnis yang sangat cepat dan dinamis. Perhatian dan kesadaran terhadap aspek lingkungan yang meningkat di seluruh dunia ini yang mendorong industri untuk menerapkan konsep *Green manufacturing (GM)* pada kegiatan bisnis yang dilakukan (Ghazilla dkk., 2015; Sangwan dan Mittal, 2015). Ide *Green Manufacturing (GM)* pada dasarnya adalah proses/sistem yang berdampak minimal pada lingkungan atau tidak

menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Negara-negara di dunia telah berkomitmen untuk lebih memperhatikan aspek lingkungan dalam semua kegiatan yang dilakukan terutama dalam mengurangi CO<sub>2</sub> dan mengurangi polusi dari industri, seperti Kongres Amerika Serikat yang telah mencanangkan untuk mengurangi polusi akibat CO<sub>2</sub> sebanyak 83% pada tahun 2050 (Dornfeld, 2013).

Makalah ini akan membahas kajian literatur mengenai *Green Manufacturing* yang telah banyak dilakukan yang akan dibagi menjadi beberapa topik kajian, diantaranya mengenai pengertian GM, faktor pendukung dan penghambat implementasi GM, serta kajian mengenai berbagai praktek atau implementasi GM.

## 2. Metode

Untuk lebih memahami apa yang dimaksud dengan *Green Manufacturing (GM)*, bagaimana GM dapat diimplementasikan, dan seperti apa praktek-praktek GM telah dilakukan di berbagai sektor industri, maka dilakukan kajian literatur pada berbagai artikel dari beberapa jurnal yang membahas mengenai GM. Pengumpulan artikel-artikel tersebut dilakukan dengan bantuan *Google Scholar (GS) database*, *Emerald*, *ScienceDirect*, *IEEE*, dan *Springer*. Hasil pencarian pada beberapa database tersebut menghasilkan ratusan artikel yang membahas mengenai GM. Artikel-Artikel tersebut kemudian dipilih yang benar-benar sesuai dengan pembahasan yang akan dilakukan dan dikelompokkan berdasarkan isi atau kajian dalam masing-masing artikel. Pada pembahasan kali ini, artikel-artikel terpilih akan dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu membahas mengenai *Green* dan *Lean Manufacturing*, faktor pendukung dan penghambat GM, serta implementasi GM.

## 3. Hasil dan Pembahasan

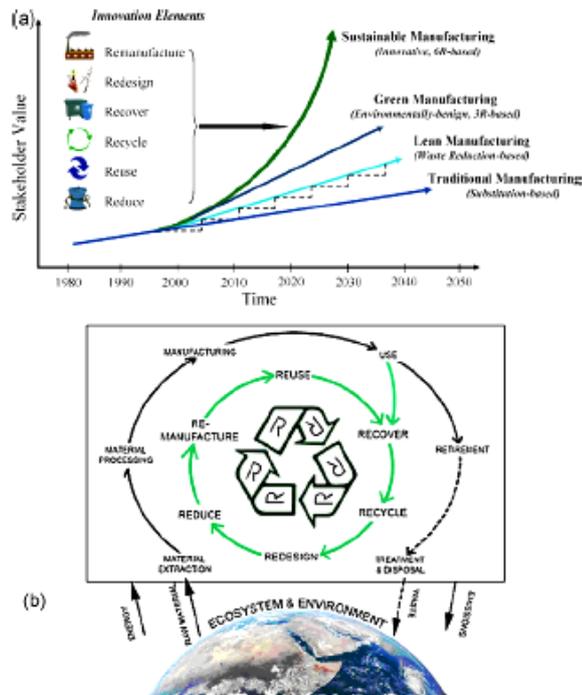
### 3.1 *Green dan Lean Manufacturing*

Manufaktur merupakan salah satu elemen penting dari pembangunan berkelanjutan karena memproduksi barang-barang yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Manufaktur adalah sistem *input-output*, di mana sumber daya adalah input dan ditransformasikan melalui proses manufaktur menjadi produk atau produk setengah jadi (Sangwan dan Mittal, 2015).

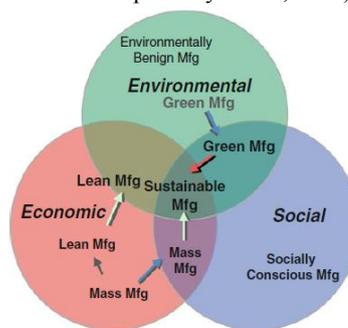
*Green manufacturing* berkaitan erat dengan *Sustainable manufacturing (SM)*. *Sustainability* dapat diperoleh dengan melakukan konsep *Green* (Dornfeld, 2014; Tseng, dkk., 2013). *Sustainable Manufacturing* sendiri diartikan sebagai "penciptaan produk yang bernilai ekonomis melalui proses yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, serta melestarikan sumber daya alam dan energi untuk menjamin ketersediaannya di masa yang akan datang. Proses yang dilakukan juga harus aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen." *Sustainable Manufacturing* merupakan evolusi dari sistem manufaktur mulai dari sistem manufaktur yang tradisional, kemudian *lean manufacturing* yang fokus pada pengurangan pemborosan (*waste reduction based*), *green manufacturing* dengan 3R, hingga akhirnya pada konsep *sustainable manufacturing* dengan pendekatan 6R pada siklus hidup produk (Gambar 1). Penerapan *Sustainable Manufacturing* mengarah pada tercapainya pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagaimana dikemukakan oleh Komisi Dunia tentang Lingkungan dan pembangunan (David A. Dornfeld, 2013) diartikan sebagai "pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri."

Keberlanjutan harus dikaitkan dengan pendekatan *triple bottom line* di mana faktor lingkungan, ekonomi, dan sosial harus dipenuhi. Ketiga pilar tersebut (lingkungan, ekonomi, dan sosial) harus terkait dan terpenuhi dengan baik agar sebuah perusahaan dapat berkembang dan bertahan menghadapi persaingan tanpa menimbulkan dampak buruk pada lingkungan. Pilar

sosial juga penting untuk keberhasilan perusahaan manufaktur walaupun sulit untuk didefinisikan secara nyata pada praktik bisnis atau manufaktur. Langkah-langkah dari dampak sosial dapat mencakup tingkat pelatihan pekerja, tingkat gaji, retensi karyawan, kecelakaan yang berhubungan dengan pekerjaan atau cedera, dan sebagainya. Konsep bagaimana kaitan manufaktur dengan tiga pilar keberlanjutan digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 1. (a) Evolusi Sustainable Manufacturing (b) Siklus hidup produk dengan pendekatan 6R (Jaafar dkk. 2007 pada Jayal dkk., 2010)



Gambar 2. Manufaktur dalam kaitannya dengan tiga pilar keberlanjutan (the three pillars of sustainable) (David A. Dornfeld, 2013)

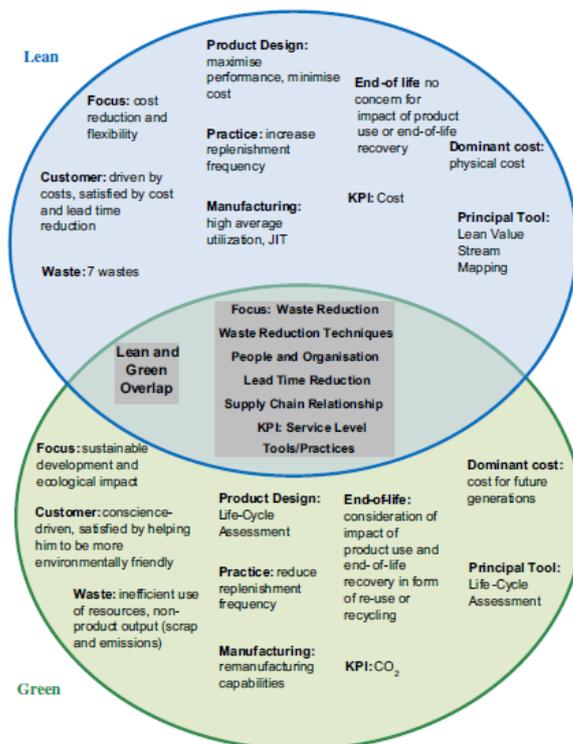
Konsep *green* meliputi proses pembuatan produk dengan penggunaan material minimal dan proses yang meminimasi dampak negatif terhadap lingkungan, hemat energi dan sumber daya alam, aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen, dengan tetap bernilai ekonomis (Dornfeld, 2013; Rehman dkk., 2013). Istilah *green* juga dapat digunakan untuk menunjukkan atau mengacu pada rangkaian kegiatan untuk mengurangi dampak dari sebuah proses atau sistem manufaktur terhadap lingkungan jika dibandingkan dengan kondisi awal, seperti pengurangan limbah berbahaya yang dihasilkan, mengurangi penggunaan pendingin (*coolant*) pada proses permesinan, atau mengubah campuran energi yang digunakan sehingga memungkinkan untuk penggunaan sumber energi terbarukan (Dornfeld, 2013). *Green Manufacturing* (GM) juga dikenal dengan sejumlah nama yang berbeda atau istilah (*clean manufacturing, environmentally conscious manufacturing, environmentally benign manufacturing, environmentally responsible manufacturing, sustainable manufacturing*), atau

*sustainable production* (Sangwan dan Mittal, 2015). GM adalah metode manufaktur yang meminimalkan limbah dan polusi melalui desain produk dan proses.

*Green Manufacturing* lebih cenderung merupakan sebuah filosofi dibanding standar atau proses (Maruthi dan Rashmi R, 2015). Tujuan utama dari GM adalah keberlanjutan sehingga setiap sektor manufaktur harus memperhatikan bagaimana sumber daya alam yang digunakan saat ini dilestarikan agar terjamin ketersediaannya untuk generasi masa depan. Dalam hal ini, GM lebih melibatkan investasi pada perbaikan proses produksi dibanding membahas teknologi.

Hal yang menarik apabila membahas GM adalah bagaimana membedakan *green* dengan *lean manufacturing (LM)*. Kedua istilah tersebut kadang-kadang digunakan secara bergantian walaupun sebenarnya memiliki tujuan akhir yang berbeda. Praktek *lean* dan *green* bersifat saling melengkapi (Dües, Tan, dan Lim, 2013). *Lean manufacturing (LM)* fokus pada bagaimana menciptakan *value* yang lebih besar pada konsumen dengan pekerjaan yang lebih sedikit. *Lean* mengacu pada kegiatan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi apakah ada penggunaan sumber daya selain untuk menambah nilai pada konsumen akhir. Jika ada, maka penggunaan sumber daya tersebut didefinisikan sebagai pemborosan dan kemudian akan dicoba untuk dihilangkan (David A. Dornfeld, 2013). Pada Gambar 3. dijelaskan mengenai perbedaan dari GM dengan LM (jika dilihat dari fokus, *key performance indicator* (KPI), definisi *waste*, dan alat analisis yang digunakan) dan irisan antara keduanya.

Penelitian-penelitian yang membahas mengenai *green* dan *lean manufacturing* diantaranya adalah penelitian mengenai konsep *green* dan *lean manufacturing* (Dhingra, Kress, dan Upreti, 2014; Garza-reyes, 2015); model *green* dan *lean manufacturing* (Duarte, 2013; Pampanelli, 2015); dan bagaimana konsep *lean* dan *green* digunakan secara bersamaan di perusahaan (Dües, Tan, dan Lim, 2013; Galeazzo, Furlan, dan Vinelli, 2013; Hallam & Contreras, 2016; Johansson dan Sundin, 2014; Prasad dan Sharma, 2014). Penelitian-penelitian tersebut diuraikan lebih lengkap pada Tabel 1.



Gambar 3. Filosofi *green* dan *lean manufacturing* (Dües, Tan, & Lim, 2013)

**Tabel 1.** Artikel mengenai *lean*, *green*, dan *sustainable manufacturing*

Aspek kajian	Pembahasan	Penulis
Konsep Green dan Lean	Penjelasan mengenai GM; kenapa GM dibutuhkan dan metode GM untuk mengurangi pemborosan dan polusi.	(Paul, Bhole, dan Chaudhari, 2014; Dornfeld, 2013)
	Ada 8 <i>framework</i> dengan nama yang berbeda yang digunakan untuk menggambarkan aspek <i>green</i> . Sebagian besar <i>framework</i> menggunakan pendekatan <i>product life cycle</i> dan pendekatan sistem sebagai pendekatan untuk implementasi.	(Sangwan dan Mittal, 2015)
	Pemetaan pembahasan artikel-artikel tentang <i>lean</i> dan <i>green</i> meliputi <i>compatibility</i> ; integrasi dengan <i>Six sigma</i> , <i>resilience</i> , <i>agile</i> , <i>global supply chain</i> ; integrasi <i>lean</i> dan <i>green</i> ; aplikasi (empirik) pada beberapa sektor industri dan fungsi manajemen; dan pengaruhnya terhadap performansi.	(Garza-reyes, 2015)
	Membahas GM dari berbagai kajian (dibagi menjadi 12 kajian): pentingnya GM; teknologi untuk GM; tools yang digunakan untuk <i>green manufacturing</i> ; pendekatan untuk implementasi GM; kasus praktek GM di beberapa negara; elemen-elemen GM; peraturan dan arah kebijakan GM; pengukuran GM; integrasi GM dengan <i>total quality management</i> , <i>GM Framework</i>	(Rehman dan Shrivastava, 2013)
Hubungan Lean dan Green	Praktek <i>Green</i> sejalan dengan konsep <i>Sustainable</i> (keberlanjutan). Kedua konsep tersebut harus dibawa bersama pada tingkat pengembangan, implementasi, dan pendidikan.	(Dhingra dkk., 2014)
	<i>Lean</i> dan <i>green</i> memiliki kesamaan (tumpang tindih) pada atribut <i>waste</i> dan teknik mereduksi <i>waste</i> , orang dan organisasi, reduksi <i>lead time</i> , hubungan pada rantai pasok, KPI : tingkat layanan, dan penggunaan alat dan cara implementasi. <i>Green</i> lebih fokus pada <i>waste</i> yang berdampak pada lingkungan.	(Dües dkk., 2013)
	Praktek <i>lean</i> dan <i>green manufacturing</i> saling mempengaruhi satu sama lain. Ada tiga jenis hubungan <i>lean</i> dan <i>green manufacturing</i> , yaitu 1) <i>Lean</i> dan <i>green manufacturing</i> saling melengkapi satu sama lain; 2) Sinergi antara dua konsep menghasilkan performansi yang lebih baik; dan 3) Hubungan timbal balik antara <i>lean</i> dan pengurangan limbah lingkungan	(Hallam dan Contreras, 2016)
<i>Green</i> dan <i>Sustainable</i>	Praktek <i>Green</i> sejalan dengan konsep <i>Sustainable</i> (keberlanjutan). Kedua konsep tersebut harus dibawa bersama pada tingkat pengembangan, implementasi, dan pendidikan.	(Dhingra dkk., 2014)

### 3.2 Faktor Pendorong dan Penghambat Implementasi *Green Manufacturing*

Penelitian mengenai faktor pendorong dan penghambat dalam implementasi GM sebagian besar dilakukan dengan studi kasus dan *survey*. Dornfeld (2013) mengemukakan bahwa motivasi yang mendorong perusahaan menerapkan GM diantaranya adalah tekanan dari pemerintah (adanya peraturan, hukuman, dan pajak), keinginan untuk melakukan efisiensi, kelangkaan sumber daya, perbaikan terus menerus, tekanan masyarakat/konsumen/pesaing, dan keinginan untuk menjaga kepemimpinan pasar. Faktor penghambat implementasi GM menurut Dornfeld (2013) terbagi menjadi 3, yaitu ekonomi, teknologi, dan manajerial.

Penelitian lain dilakukan oleh Mittal & Sangwan (2014c, 2014d), menguraikan faktor pendorong dan penghambat GM di perusahaan dari perspektif lingkungan, sosial, dan ekonomi kemudian mengurutkan faktor-faktor tersebut sesuai tingkat kepentingannya. Faktor pendorong diantaranya undang-undang di masa depan, tekanan publik, tekanan dari rekanan, dan komitmen manajemen puncak adalah faktor yang paling penting dari perspektif lingkungan; tekanan publik dan komitmen manajemen puncak adalah faktor yang paling penting dari perspektif sosial; dan dari perspektif ekonomi ada faktor insentif, penghematan biaya, daya saing, permintaan pelanggan, teknologi, dan sumber daya organisasi. Faktor penghambat GM diantaranya kurangnya *awareness*/informasi (terbatasnya *awareness* terhadap tren '*green*', akses terbatas pada literatur mengenai GM; kelangkaan informasi yang memadai); resiko teknologi (ancaman menerapkan teknologi baru/teknologi yang kompleks; ketakutan timbulnya masalah dari teknologi yang digunakan; masalah kompatibilitas dengan sistem yang ada);

perundang-undangan yang lemah (tidak adanya undang-undang lingkungan yang lengkap dan hukum yang tidak efektif); penegakan hukum yang rendah; dan *'trade off'*.

Mittal & Sangwan (2014a, 2014b) dalam artikel yang lain juga membahas mengenai faktor pendorong dan penghambat *environmentally conscious manufacturing* yang sebagian orang menganggap sebagai istilah lain dari *Green Manufacturing*. Faktor pendorong yang dominan diantaranya adalah permintaan konsumen, tekanan dari masyarakat, tekanan dari rekanan, *image* masyarakat, peraturan atau perundang-undangan serta tekanan dari rantai pasok. Sedangkan yang menjadi faktor penghambat dibagi menjadi tiga bagian yaitu dari kebijakan (penegakan hukum dan peraturan yang lemah, ketidakpastian aturan di masa yang akan datang, dan kurangnya tekanan dari masyarakat), internal (rendahnya komitmen manajemen, kekurangan sumber daya dan informasi, dan resiko teknologi), dan ekonomi (biaya jangka pendek yang tinggi, rendahnya permintaan konsumen, ketidakpastian manfaat yang akan diperoleh dan *trade off*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor penghambat dari internal berpengaruh terhadap penghambat dari kebijakan dan ekonomi.

Ghazilla dkk. (2015) membahas mengenai faktor pendorong dan penghambat implementasi GM pada perusahaan kecil dan menengah (studi kasus IKM di Malaysia). Faktor pendorong terbesar untuk implementasi GM adalah keinginan untuk membangun *image* perusahaan, memperbaiki daya saing, memperbaiki kualitas produk yang dihasilkan, serta untuk mendapatkan pengakuan dari masyarakat luas. Faktor yang menjadi penghambat diantaranya adalah struktur organisasi perusahaan yang lemah dalam mendukung implementasi GM dan tidak memiliki manajemen lingkungan yang terstruktur. Selain itu, pengetahuan pemilik perusahaan mengenai praktek GM tidak direalisasikan menjadi praktek GM karena adanya anggapan bahwa praktek GM hanya akan membutuhkan biaya besar tanpa memberi manfaat yang signifikan bagi perusahaan.

Penelitian-penelitian lain mengenai faktor pendorong dan penghambat GM adalah penelitian dari sudut pandang penghematan energi dan pengurangan emisi (Reddy, 2013; Zhu dan Geng, 2013; Cagno dkk, 2015), implementasi strategi lingkungan pada perusahaan manufaktur (Bey, Hauschild, dan Mcaloone, 2013), dari sudut pandang rantai pasok (Diabat dan Govindan, 2011; Drohomeretski, Costa, dan Lima, 2014), serta dari sudut pandang penggunaan teknologi ramah lingkungan (Luken dan Van Rompaey, 2008). Selain artikel-artikel yang membahas mengenai faktor pendorong dan penghambat implementasi GM, ditemukan beberapa artikel yang membahas mengenai *Critical Success Factor* (CSF) implementasi GM diantaranya adalah Chuang dan Yang (2014), Achanga dkk. (2006) dan Ghazilla dkk. (2015).

### **3.3 Implementasi *Green Manufacturing***

Tujuan *Green Manufacturing* (GM) adalah integrasi berkesinambungan dari perbaikan lingkungan dari proses industri dan produk untuk mengurangi atau mencegah polusi udara, air, dan tanah, mengurangi limbah pada sumbernya, dan untuk meminimalkan resiko terhadap manusia dan spesies lainnya (Van Berkel dkk., 1997). Tantangan berkaitan dengan implementasi GM adalah bagaimana memenuhi permintaan konsumen /pelanggan akan produk yang ramah lingkungan, mengembangkan skema daur ulang, minimasi penggunaan bahan baku, dan memilih bahan baku dengan dampak lingkungan yang minimal. Berkaitan dengan proses, GM bertujuan untuk konservasi bahan baku dan energi, menghilangkan penggunaan zat beracun, dan mengurangi limbah yang dihasilkan. Berkaitan dengan produk, GM mencoba untuk meminimalkan dampak lingkungan di sepanjang siklus hidup produk. Pada perspektif proses dan produk, terjadi saling tumpang tindih karena mengadopsi siklus hidup produk yang berarti bahwa dampak lingkungan dari proses manufaktur juga harus dipertimbangkan.

*Green manufacturing* mencakup sejumlah aktivitas, yaitu pencegahan polusi, reduksi penggunaan zat beracun (Bergendahl dkk., 2005), dan desain untuk lingkungan (Johansen dkk, 2007). Pencegahan polusi fokus pada bagaimana menghindari dan meminimalkan limbah

melalui pengurangan sumber limbah atau melakukan daur ulang di tempat. Mengurangi sumber limbah dapat dicapai dengan cara yang berbeda baik yang berhubungan dengan proses maupun dengan produk (Van Berkel dkk., 1997), diantaranya modifikasi produk dengan mengubah bentuk dan komposisi bahan baku produk; substitusi input sehingga penggunaan bahan baku dan bahan tambahan yang menyebabkan polusi serta penggunaan alat bantu proses (misalnya pelumas dan pendingin) lebih sedikit; modifikasi teknologi melibatkan perbaikan proses otomatisasi, proses optimasi, desain ulang peralatan dan substitusi proses; serta perubahan prosedur operasional dan manajemen untuk mengurangi atau menghilangkan limbah dan emisi.

Beberapa artikel menjelaskan implementasi GM dengan melakukan *reduce*, *reuse* dan *recycle* pada jenis industri yang berbeda, seperti pada industri manufaktur secara umum (Bey, Hauschild, dan Mcalooone, 2013; Luken dan Van Rompaey, 2008; Masoumik, Abdul-rashid, dan Ologu, 2015); industri lantai/ubin keramik dengan melakukan perubahan pada penggunaan bahan baku, efisiensi konsumsi energi dan air (Gabaldón-estevan, Criado, dan Monfort, 2014); industri karet (Marimin dkk., 2014); industri otomotif dengan mengimplementasikan pengolahan air yang digunakan dalam produksi, dan penggunaan material yang lebih ramah lingkungan (Drohomeretski dkk., 2014); mengurangi limbah makanan pada perusahaan produsen makanan dilakukan dengan *remanufacture*, *repackaging*, penjualan dengan diskon, donasi pada lembaga-lembaga sosial, melakukan manajemen limbah (Garrone dkk., 2016); dan industri pengecoran logam (Arulrajah dkk., 2017). Contoh implementasi GM yang lain adalah daur ulang air limbah bekas cuci *pad-batch* pada industri tekstil dengan proses oksidasi (Tezcanl, Nadeem, dan Dizge, 2016), penggunaan kembali *sludge* biologis pada industri kertas dan karton (Huber dkk., 2014), dan penggunaan kembali air limbah pada industri elektronik (Eksangsri dan Jaiwang, 2014).

Hingga makalah ini disusun, ditemukan dua artikel yang membahas mengenai *green manufacturing* di Indonesia yaitu pada industri karet (Marimin dkk., 2014) dan pada pembuatan botol minuman kemasan plastik (Soedarmadji dan Siswanto, 2015). Di Indonesia sendiri, pemerintah melalui Kementerian perindustrian telah meluncurkan Standar Industri Hijau (SIH) untuk 17 jenis industri. SIH ditetapkan sebagai pedoman bagi industri di Indonesia agar menerapkan produksi yang efisien, akan tetapi masih diterapkan secara sukarela. Standar tersebut disusun berdasarkan klasifikasi baku lapangan usaha Indonesia (KBLI) yang memuat ketentuan mengenai bahan baku, bahan penolong, energi, proses produksi, produk, manajemen perusahaan, dan pengelolaan limbah. Artikel-artikel yang lain mengenai implementasi GM dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Artikel mengenai implementasi GM

Aspek Kajian	Pembahasan	Penulis
<i>Green Design</i>	<i>Development-intensive green product</i> (DIGP) and <i>margin cost-intensive green product</i> (MIGP)	(W. Zhu dan He, 2017)
	Kolaborasi desain produk dengan teknologi pada industri manufaktur	(Taib, Udin, dan Ghani, 2015)
	Membandingkan konsep <i>Lean Product Development</i> (LPD) dengan <i>Green Product Development</i> (GPD)	(Johansson dan Sundin, 2014)
<i>Green Production</i>	Efisiensi penggunaan energi dan bahan baku	(Dufloou dkk., 2012; Ingarao, 2017; Newman dkk, 2012; Oncel, 2017; Park dkk., 2009)
<i>Reduce, Reuse, Recycle</i>	Pengurangan dan penggunaan kembali sekrap industri dengan mendesain produk berbahan dasar sekrap industri	(Pacelli dkk., 2015)
	Pengurangan emisi karbondioksida pada pabrik daur ulang plastik resin	(Rahim, Aziz, dan Raman, 2017)
	Penggunaan kembali limbah cat ubin keramik pada produksi <i>paving block</i>	(Santos dkk., 2016)

#### 4 Simpulan

Konsep *Green Manufacturing* telah lama dikenal dan dikembangkan di beberapa negara di dunia. Kelangkaan dan semakin berkurangnya sumber daya alam, isu pemanasan global yang disebabkan oleh efek rumah kaca yang salah satu penyumbang terbesarnya adalah dunia industri, semakin ketatnya peraturan dan undang-undang mengenai industri berwawasan lingkungan, serta semakin tingginya *awareness* konsumen untuk menggunakan produk yang ramah lingkungan dengan harga yang rendah, menyebabkan dunia industri semakin serius menangani isu lingkungan dan mengintegrasikan aspek lingkungan pada semua tahapan proses di perusahaan. Walaupun demikian, industri yang mengimplementasikan *green* masih relatif kecil dibanding jumlah industri yang ada, terutama di negara berkembang dan negara belum berkembang. Dari kajian mengenai GM yang telah dilakukan, sebagian besar penghambat implementasi *green* adalah lemahnya peraturan dan penegakan aturan serta kurangnya pengetahuan mengenai *green* terutama untuk industri kecil dan menengah. Anggapan bahwa penerapan GM hanya menimbulkan biaya produksi yang tinggi dengan manfaat yang tidak berpengaruh langsung pada keuntungan perusahaan, menyebabkan perusahaan kurang serius mengimplementasikan GM. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan penerapan perundang-undangan mengenai lingkungan yang harus ditaati oleh semua industri dengan aturan atau mekanisme pelaksanaan yang jelas.

Penelitian mengenai *Green Manufacturing* di Indonesia masih belum banyak dilakukan terutama berkaitan dengan bagaimana meningkatkan pengetahuan semua kalangan industri mengenai *green* dan bagaimana standar atau peraturan mengenai lingkungan yang telah ada dapat diterapkan secara maksimal di Indonesia.

#### Daftar Pustaka

- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(4), 460–471.
- Arulrajah, A., Yaghoubi, E., Imteaz, M., & Horpibulsuk, S. (2017). Recycled waste foundry sand as a sustainable subgrade fill and pipe-bedding construction material : Engineering and environmental evaluation. *Sustainable Cities and Society*, 28, 343–349.
- Bey, N., Hauschild, M. Z., & Mcaloone, T. C. (2013). Drivers and barriers for implementation of environmental strategies in manufacturing companies. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 62(1), 43–46.
- Cagno, E., Trianni, A., Abeelen, C., Worrell, E., & Miggiano, F. (2015). Barriers and drivers for energy efficiency: Different perspectives from an exploratory study in the Netherlands. *Energy Conversion and Management*, 102, 26–38.
- Chuang, S., & Yang, C. (2014). Key success factors when implementing a green- manufacturing system. *Production Planning & Control : The Management of Operations*, 25(11), 923–937.
- David A. Dornfeld (Ed.). (2013). *Green Manufacturing : Fundamentals and Applications*. New York: Springer Science+Business Media New York.
- Dhingra, R., Kress, R., & Upreti, G. (2014). Does lean mean green? *Journal of Cleaner Production*, 85, 1–7.
- Diabat, A., & Govindan, K. (2011). An analysis of the drivers affecting the implementation of green supply chain management. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 659–667.
- Dornfeld, D. A. (2014). Moving Towards Green and Sustainable Manufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(1), 63–66.
- Drohmeretski, E., Costa, S. G. da, & Lima, E. P. De. (2014). Green supply chain management Drivers, barriers, and practices within the Brazilian automotive industry. *Journal of*

- Manufacturing Technology Management*, 25(8), 1105–1134.
- Duarte, S. (2013). Modelling lean and green : a review from business models. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(3), 228–250.
- Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100.
- Dufloy, J. R., Sutherland, J. W., Dornfeld, D., Herrmann, C., Jeswiet, J., Kara, S., ... Kellens, K. (2012). Towards energy and resource efficient manufacturing : A processes and systems approach. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 587–609.
- Eksangsri, T., & Jaiwang, T. (2014). Feasibility study on reuse of washed water in electronic industry : case study for flexible printed circuit board manufacturing. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 206–214.
- Gabaldón-estevan, D., Criado, E., & Monfort, E. (2014). The green factor in European manufacturing : a case study of the Spanish ceramic tile industry. *Journal of Cleaner Production*, 1–9.
- Galeazzo, A., Furlan, A., & Vinelli, A. (2013). Lean and green in action : interdependencies and performance of pollution prevention projects. *Journal of Cleaner Production*.
- Garrone, P., Melacini, M., Perego, A., & Sert, S. (2016). Reducing food waste in food manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1076–1085.
- Garza-reyes, J. A. (2015). Lean and green - A systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29.
- Ghazilla, R. A. R., Sakundarini, N., Abdul-Rashid, S. H., Ayub, N. S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2015). Drivers and barriers analysis for green manufacturing practices in Malaysian SMEs: A preliminary findings. *Procedia CIRP*, 26, 658–663.
- Hallam, C. R. A., & Contreras, C. (2016). The interrelation of lean and green manufacturing practices : a case of push or pull in implementation. *Proceedings of PICMET '16: Technology Management for Social Innovation* (hal. 1815–1823).
- Huber, P., Ossard, S., Fabry, B., Bermond, C., Craperi, D., & Fourest, E. (2014). Conditions for cost-efficient reuse of biological sludge for paper and board manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 66, 65–74.
- Ingarao, G. (2017). Manufacturing strategies for efficiency in energy and resources use : The role of metal shaping processes. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2872–2886.
- Jayal, A. D., Badurdeen, F., Jr, O. W. D., & Jawahir, I. S. (2010). Sustainable manufacturing : Modeling and optimization challenges at the product, process, and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, 144–152.
- Johansson, G., & Sundin, E. (2014). Lean and green product development : two sides of the same coin? *Journal of Cleaner Production*, 85, 104–121.
- Luken, R., & Van Rompaey, F. (2008). Drivers for and barriers to environmentally sound technology adoption by manufacturing plants in nine developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 16(1 SUPPL. 1), 67–77.
- Marimin, Darmawan, M. A., Machfud, Islam Fajar Putra, M. P., & Wiguna, B. (2014). Value chain analysis for green productivity improvement in the natural rubber supply chain: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 85, 201–211.
- Masoumik, S. M., Abdul-rashid, S. H., & Olugu, E. U. (2015). Importance-Performance analysis of green strategy adoption within the Malaysian Manufacturing Industry. *Procedia CIRP*, 26, 646–652.
- Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014a). Development of a model of barriers to environmentally conscious manufacturing implementation. *International Journal of Production Research*, 52(2), 584–594.
- Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014b). Modeling drivers for successful adoption of

- environmentally conscious manufacturing. *Journal of Modelling in Management*, 9(2), 127–140.
- Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014c). Prioritizing barriers to green manufacturing : environmental, social and economic perspectives. *Procedia CIRP*, 17, 559–564.
- Mittal, V. K., & Sangwan, K. S. (2014d). Prioritizing drivers for green manufacturing : environmental, social and economic perspectives. *Procedia CIRP*, 15, 135–140.
- Newman, S. T., Nassehi, A., & Dhokia, V. (2012). Energy efficient process planning for CNC machining. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5(2), 127–136.
- Oncel, S. S. (2017). Green energy engineering : Opening a green way for the future. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3095–3100.
- Pacelli, F., Ostuzzi, F., & Levi, M. (2015). Reducing and reusing industrial scraps : a proposed method for industrial designers. *Journal of Cleaner Production*, 86, 78–87.
- Pampanelli, A. B. (2015). A Lean & Green Model for a Value Stream. *Proceeding of 5th International Workshop | Advances in Cleaner Production*.
- Park, C., Kwon, K., Kim, W., Min, B., Park, S., Sung, I., ... Seok, J. (2009). Energy consumption reduction technology in manufacturing—A selective review of policies, standards, and research. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10(5), 151–173.
- Paul, I. D., Bhole, G. P., & Chaudhari, J. R. (2014). A review on green manufacturing : It's important, methodology and its application. *Procedia Materials Science*, 6(Icmpc), 1644–1649.
- Prasad, S., & Sharma, S. K. (2014). Lean and Green Manufacturing: concept and its implementation in operations management. *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 4(5), 2250–3234. Diambil dari <http://www.ripublication.com/ijame.htm>
- Rahim, R., Aziz, A., & Raman, A. (2017). Carbon dioxide emission reduction through cleaner production strategies in a recycled plastic resins producing plant. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1067–1073.
- Reddy, B. S. (2013). Barriers and drivers to energy efficiency-A new taxonomical approach. *Energy Conversion and Management*, 74, 403–416.
- Rehman, M. A. A., & Shrivastava, R. L. (2013). Green manufacturing ( GM ): past, present, and future (a state of art review). *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 10(1/2/3), 17–55.
- Rehman, M. A. A., Shrivastava, R. R., & Shrivastava, R. L. (2013). Validating green manufacturing (GM) framework for sustainable development in an Indian Steel Industry. *Universal Journal of Mechanical Engineering 1(2):*, 1(2), 49–61.
- Sangwan, K. S. (2011). Development of a multi criteria decision model for justification of green manufacturing systems. *International Journal Green Economics*, 5(3), 285–305.
- Sangwan, K. S., & Mittal, V. K. (2015). A bibliometric analysis of green manufacturing and similar frameworks. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(4), 566–587.
- Santos, C., Penteadó, G., Viviani, E., Carvalho, D., Cristina, R., & Lintz, C. (2016). Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing. *JCLP*, 112, 514–520.
- Soedarmadji, W., & Siswanto, E. (2015). Penerapan konsep green manufacturing pada botol minuman kemasan plastik. *JEMIS*, 3(2), 76–81.
- Taib, M. Y. M., Udin, Z. M., & Ghani, A. H. A. (2015). The collaboration of green design & technology towards business sustainability in Malaysian Manufacturing Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 211, 237–242
- Tezcanl, G., Nadeem, K., & Dizge, N. (2016). Recycling of pad-batch washing textile

- wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 139, 488–494.
- Tseng, M., Shun, A., Chiu, F., Tan, R. R., & Siriban-manalang, A. B. (2013). Sustainable consumption and production for Asia : sustainability through green design and practice. *Journal of Cleaner Production*, 40, 1–5.
- Zhu, Q., & Geng, Y. (2013). Drivers and barriers of extended supply chain practices for energy saving and emission reduction among Chinese manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 40, 6–12
- Zhu, W., & He, Y. (2017). Green product design in supply chains under competition. *European Journal of Operational Research*, 258(1), 165–180.