

Pengembangan Metode Evaluasi untuk Penilaian Tingkat Ramah Lingkungan Proses Manufaktur

Sri Raharno^{1,a*}, Yatna Yuwana M.^{2,b} dan Muhammad Imaduddin^{3,c}

^{1,2,3}Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

^aharnos@ftmd.itb.ac.id, ^byatna@ftmd.itb.ac.id, ^cmuhdin29@gmail.com

Abstrak

Secara singkat *green product* adalah suatu gagasan yang ditujukan kepada produsen untuk menciptakan produk yang ramah terhadap lingkungan. Produk yang ramah lingkungan diperlukan sebagai alternatif solusi untuk mengurangi dampak buruk produk terhadap lingkungan. Suatu produk dapat dikatakan ramah terhadap lingkungan apabila secara umum siklus hidup dari produk tersebut tidak berdampak buruk bagi lingkungan. Salah satu tahapan siklus dari produk adalah proses produksi atau manufaktur. Proses manufaktur yang ramah lingkungan atau *green manufacturing* merupakan salah satu cara untuk mendukung gagasan *green product*. Secara mendasar proses manufaktur yang dilalui produk akan memerlukan energi dan akan menghasilkan emisi. Energi yang terpakai dan emisi dari proses manufaktur dapat dievaluasi untuk menentukan tingkat ramah lingkungan suatu produk. Proses manufaktur dapat dikatakan ramah lingkungan apabila pemasukan dan pengeluaran dari proses tersebut efisien dan tidak berbahaya atau berdampak buruk terhadap lingkungan. Proses manufaktur dapat dievaluasi pemasukan yang diperlukan dan pengeluaran yang dihasilkan sehingga dapat dikatakan ramah lingkungan. Penelitian ini telah mengembangkan metode evaluasi untuk menyatakan apakah proses manufaktur yang dilalui produk bersifat ramah lingkungan atau tidak. Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) melakukan studi literatur mengenai aspek yang perlu diperhatikan untuk mengevaluasi proses manufaktur, (2) mengumpulkan data pendukung untuk menentukan nilai yang dapat dinilai tepat untuk mengevaluasi proses, (3) mengambil data proses manufaktur dilapangan untuk data studi kasus dan (4) melakukan uji coba terhadap metode evaluasi yang telah dikembangkan. Studi kasus yang digunakan dalam uji coba ini adalah proses hard croring. Keluaran dari metode evaluasi yang dikembangkan ini berupa suatu nilai yang akan bernilai dari 0 sampai 1 miliar. Hasil penilaian 0 sampai 4 juta memberikan arti proses manufaktur yang dievaluasi tidak menggunakan zat berbahaya dan 4 juta sampai 1 miliar memberikan arti proses manufaktur menggunakan zat berbahaya. Semakin kecil hasil penilaian, berarti proses manufaktur tersebut semakin ramah terhadap lingkungan atau semakin kecil dampak buruk terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh proses tersebut.

Kata kunci: proses manufaktur, tingkat ramah lingkungan, siklus hidup produk, metode evaluasi, *green product*, *green manufacturing*

Pendahuluan

Green product adalah suatu gagasan yang ditujukan kepada produsen agar menciptakan produk yang ramah terhadap lingkungan. Produk yang ramah lingkungan terhadap diperlukan sebagai solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang telah terjadi di bumi. Pencemaran terjadi karena kepedulian yang kurang dari produsen ataupun konsumen terhadap masalah lingkungan yang akan ditimbulkan oleh produk.

Suatu produk dapat dikatakan ramah terhadap lingkungan apabila siklus hidup dari produk tersebut tidak berdampak buruk bagi lingkungan. Siklus hidup produk sendiri merupakan tahapan-

tahapannya proses yang terjadi pada produk. Tahapan-tahapan pada siklus hidup produk tersebut perlu dievaluasi untuk mendapatkan produk yang ramah terhadap lingkungan.

Salah satu tahapan siklus hidup dari produk adalah proses produksi atau manufaktur. Proses manufaktur yang ramah lingkungan atau *green manufacturing* dapat mendukung produk menjadi *green product*. Pada dasarnya, proses manufaktur yang dilalui produk akan memerlukan energi dan akan menghasilkan emisi. Energi yang terpakai dan emisi yang dihasilkan oleh proses manufaktur dapat dievaluasi untuk menentukan tingkat ramah lingkungan suatu produk.

Pada penelitian ini akan dibahas pengembangan metode evaluasi untuk mengukur tingkat ramah lingkungan suatu produk ditinjau dari proses manufaktur yang dialami oleh produk. Proses evaluasi proses manufaktur ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan produk mana yang lebih ramah terhadap lingkungan.

Green Manufacturing

Secara umum *green manufacturing* adalah suatu sistem yang menyatukan masalah produk dan desain proses dengan masalah pada proses manufaktur, perencanaan dan kontrol dengan cara tertentu untuk mengenali, mengukur, menilai, dan memelihara laju limbah pada lingkungan dengan tujuan mengurangi dan akhirnya meminimalkan dampak lingkungan dan memaksimalkan efisiensi sumberdaya[1]. Selain itu, *green manufacturing* juga bertujuan untuk menghindari polusi serta menghemat energi melalui penemuan dan pengembangan dari pengetahuan baru yang dapat mengurangi dan atau mengeliminasi pemakaian atau produksi zat yang berbahaya dalam desain, manufaktur dan penerapannya. David Dornferld, direktur LMAS (*Laboratory for Manufacturing And Sustainability*), mengatakan bahwa *green manufacturing* adalah gagasan yang digunakan untuk mencapai *sustainable manufacturing*. *Green manufacturing* diperlukan karena *sustainable manufacturing* masih sulit untuk diwujudkan pada kehidupan nyata [2]. Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk mencapai *sustainable manufacturing* adalah sebagai berikut:

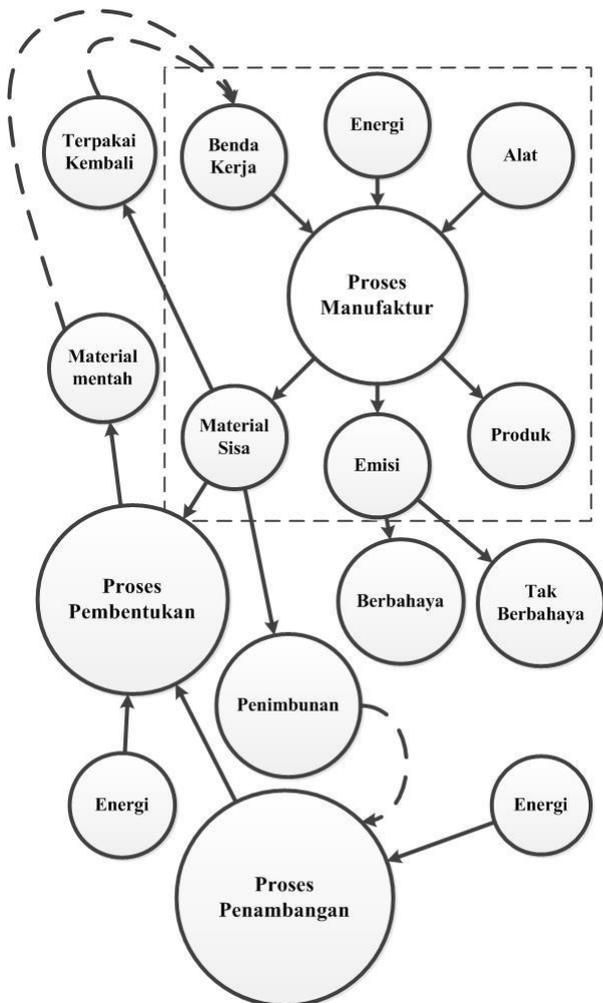
- a. Pengurangan penggunaan material dan energi.
- b. Penggantian material masukan seperti material beracun dengan material tidak beracun atau material tidak terbarukan dengan material terbarukan.
- c. Pengurangan keluaran proses yang tidak diinginkan.
- d. Keluaran proses produk diubah menjadi input untuk proses lebih lanjut, seperti daur ulang dan variasinya.
- e. Perubahan struktur kepemilikan dan produksi produk seperti sistem servis produk dan struktur rantai pasok.

Pertimbangan Sistem Evaluasi

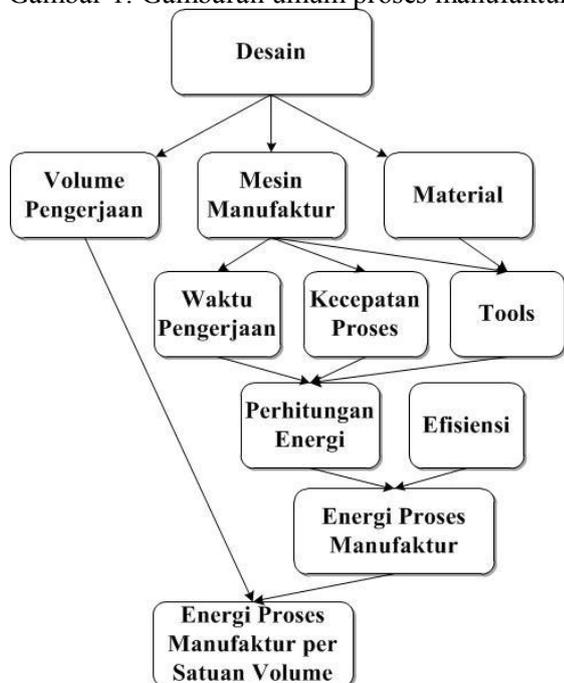
Secara umum proses manufaktur membutuhkan benda kerja (material) yang akan diproses menjadi produk, energi yang dibutuhkan untuk proses manufaktur dan alat pendukung lain. Hasil dari proses manufaktur ini selain produk yang diinginkan adalah material sisa dan emisi proses

manufaktur. Gambaran secara umum proses manufaktur dapat dilihat pada Gambar 1. Pada dasarnya, masukan (*input*) dan keluaran (*output*) dari proses manufaktur dapat dievaluasi untuk mendapatkan tingkat ramah lingkungan dari proses tersebut. Suatu proses manufaktur dapat dikatakan ramah terhadap lingkungan apabila proses tersebut tidak menggunakan atau menghasilkan zat/substansi yang dapat membahayakan lingkungan serta hemat dalam penggunaan energi. Pada penelitian ini, metode evaluasi yang dikembangkan akan tertuju pada energi yang diperlukan untuk melakukan proses manufaktur dan zat/substansi berbahaya yang terkandung di dalam proses manufaktur tersebut.

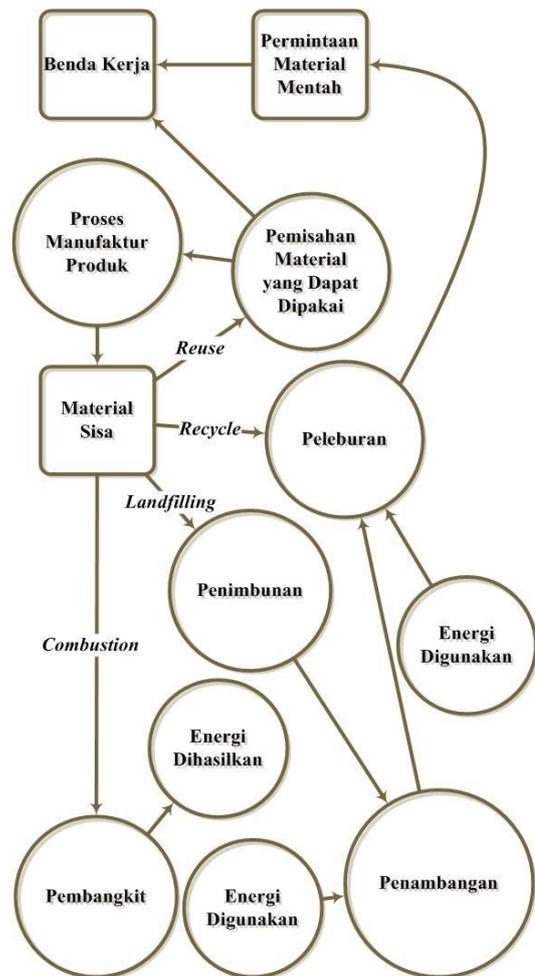
Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, energi diperlukan untuk melakukan proses manufaktur dan proses pembentukan kembali material. Pembentukan kembali material perlu dievaluasi agar produsen mempertimbangkan penggunaan benda kerja secara efisien sehingga benda kerja terpakai seluruhnya. Selain itu evaluasi juga dibutuhkan pada energi yang diperlukan untuk melakukan proses manufaktur berdasarkan konsumsi energi mesin manufaktur yang dipakai serta konsumsi energi untuk memproduksi material sisa sehingga dapat digunakan kembali. Konsumsi energi yang diperlukan pada proses manufaktur akan didasarkan pada kebutuhan energi per satuan volume pengerjaan yang dihasilkan pada proses manufaktur sedangkan pada proses pembentukan kembali material didasarkan banyaknya energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan per satuan volume material. Satuan yang digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi adalah $[kJ/mm^3]$. Pada Gambar 2 diperlihatkan bagaimana cara mengevaluasi konsumsi energi pada mesin manufaktur dan pembentukan kembali material.



Gambar 1. Gambaran umum proses manufaktur

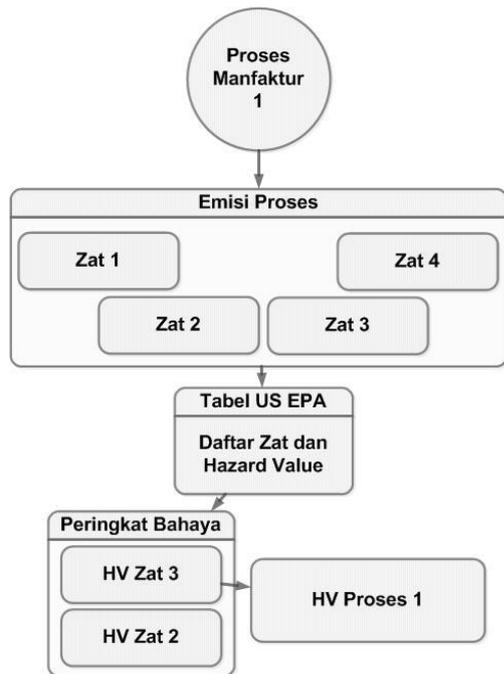


Gambar 2. Evaluasi konsumsi energi pada mesin manufaktur



Gambar 3. Evaluasi konsumsi energi pada pembentukan kembali material

Pada proses manufaktur, zat berbahaya yang terlibat dapat dievaluasi dengan merujuk pada daftar tingkat bahaya suatu zat yang telah dibakukan. Dalam Gambar 4 diperlihatkan langkah-langkah untuk mengevaluasi tingkat bahaya dari zat yang terlibat dalam proses manufaktur. Salah satu aspek penilaian tingkat bahaya produk adalah nilai tertinggi dari zat berbahaya yang terlibat dalam proses manufaktur apabila dalam proses tersebut melibatkan lebih dari satu zat yang berbahaya.



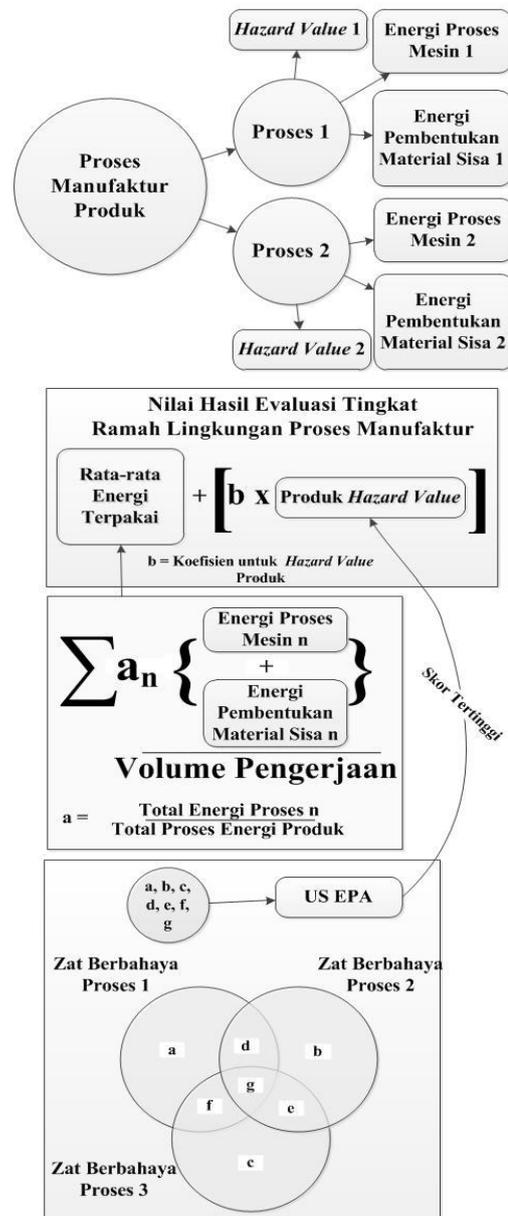
Gambar 4. Langkah-langkah evaluasi zat berbahaya yang dalam proses manufaktur

Pada proses evaluasi ini terdapat dua penilaian yang dilakukan, yaitu konsumsi energi dan tingkat bahaya zat yang terlibat dalam proses manufaktur. Agar didapatkan nilai tunggal untuk evaluasi ini, maka diperlukan penggabungan dari hasil penilaian tersebut. Konsumsi energi proses manufaktur didapatkan dengan cara menjumlahkan nilai konsumsi energi mesin manufaktur dan pembentukan material kembali yang keduanya telah dibagi dengan volume benda kerja. Dalam sistem evaluasi ini, diperlukan suatu koefisien sebagai faktor pemberat konsumsi energi yang banyak digunakan pada rangkaian proses manufaktur produk. Nilai konsumsi energi telah didapatkan akan dijumlahkan dengan nilai bahaya yang dihasilkan dari zat yang terkandung pada proses. Diperlukan koefisien agar penjumlahan antara konsumsi energi dan nilai bahaya dari proses dinilai adil. Pada metode ini, koefisien akan dikalikan dengan nilai bahaya dari proses manufaktur tersebut.

Metode evaluasi ini diharapkan dapat membedakan proses manufaktur yang memiliki zat berbahaya dan yang tidak. Koefisien bisa didapatkan apabila jangkauan dari konsumsi energi mesin manufaktur dan pembentukan kembali material telah didapatkan. Gambar 5 menggambarkan gambaran besar cara kerja metode evaluasi yang digunakan untuk mengevaluasi proses manufaktur. Tabel 1, 2 dan 3 digunakan untuk mendapatkan jangkauan konsumsi energi pada mesin manufaktur dan

pembentukan kembali material. Tabel 1 dan 2 akan digunakan untuk mencari koefisien yang cocok untuk dikalikan dengan nilai bahaya dari proses manufaktur produk. Berdasarkan Tabel 1 didapatkan jangkauan konsumsi energi pada mesin manufaktur adalah 0,002 kJ/mm³ sampai 110.000 kJ/mm³ dan berdasarkan Table 2 didapatkan jangkauan konsumsi energi pembentukan kembali material adalah 0 (apabila dilakukan proses reuse) sampai 1,161 kJ/mm³. Sedangkan dari Tabel 3, didapatkan nilai bahaya terendah adalah 0,4 dan tertinggi 100 sehingga koefisien yang cocok untuk dikalikan dengan bahaya adalah 10⁷.

Metode Evaluasi Ramah Lingkungan Proses Manufaktur



Gambar 5. Gambaran besar metode evaluasi untuk menilai tingkat ramah lingkungan dari proses manufaktur

Tabel 1. Jangkauan konsumsi energi pada mesin manufaktur[3]

Nama Proses	Estimasi	
	Daya Listrik [kJ/mm ³]	Daya Listrik [kJ/mm ³]
Pengecoran Injeksi	0,003	0,014
	0,003	0,06
	0,002	0,004
	0,003	0,015
	0,002	0,005
	0,002	0,021
	0,002	0,187
	0,002	4,68
Waterjet	1,58	244
	0,206	4,63
	0,715	26,6
	3,66	15,2
Wire EDM	6,36	645
	2,44	60,1
Drill EDM	15.400,00	7,52
Laser DMD	62,4	0,308
		0,069
Oxidation	25.700,00	
	110.000,00	

Tabel 3. Tabel nilai bahaya dari US EPA[5]

TOTAL HAZARD VALUES AND CHEMICAL RANKS, WEIGHTED BY RELEASES

chemical	Hazard Value (normalized)		Chemical Rank	
	default=0	default=5	default=0	default=5
Chromium cmpds	100	100	1	1
Arsenic cmpds	98,7	91,9	2	3
Lead cmpds	95,3	95,7	3	2
Copper cmpds	86,7	90	4	4
Terbufos (tBuSCH2SP(-S)(OEt)2	85,3	72,9	5	7
2,4-D	84,6	75,5	6	6
Nickel cmpds	84,4	83,8	7	5
Formaldehyde	83,7	71,6	8	8
1,3-dichloropropene	77,5	66,3	9	9
Trifluralin	76,1	65,1	10	10
Cadmium cmpds	74,9	64	11	11
Ammonia	72,5	62	12	13
Sulfuric acid	72,1	61,6	13	14
Hydrogen fluoride	67,2	57,5	14	16
Nitric acid	64,5	55,1	15	18
Hydrochloric acid	63,9	54,6	16	19
Styrene	62,2	53,2	17	23
Chlorpyrifos	60,3	54,3	18	21
Hydrogen cyanide	58,4	49,9	19	25
Tetrachloroethylene	58,3	49,8	20	29
Trichloroethylene	56,1	48	21	30
Chlorine	55,6	47,5	22	30
Manganese cmpds	54,1	61,3	23	15
Chlorothalonil	53,9	46,1	24	32
Di(2-ethylhexyl) phthalate	52,7	56,1	25	17
Hexachlorobenzene	49,9	42,7	26	35
Naphthalene	48,4	41,4	27	36
Phosphoric acid	48,3	41,3	28	37
Cobalt cmpds	48,2	46,3	29	31
Phenol	47,1	40,3	30	38
Barium cmpds	46,6	50,4	31	24
Polychlorinated biphenyls	46	42,9	32	34
Benzene	44,6	38,1	33	40
Captan	44,3	37,9	34	41
Acrylamide	43,9	37,5	35	42
Alachlor	43,6	39,7	36	39
Chloroform	43,2	37	37	43
Biphenyl	43,2	36,9	38	44
Acrylonitrile	42,5	36,3	39	47
1,2,4-Trichlorobenzene	42,3	36,1	40	48
1,2-Dichloroethane	42,1	36	41	49
Zinc compounds	41,7	53,3	42	22
Xylene (mixed isomers)	41,3	35,3	43	50
Atrazine	41,1	35,2	44	51
1,3-butadiene	39,4	33,7	45	52
Dacabromdiphenyl oxide	38,4	36,3	46	46
2,4-Dinitrotoluene	38,2	36,5	47	45
1,1,1-Trichloroethane	38,1	32,6	48	53
Methyl Parathion	36,9	31,6	49	54
Metam Sodium (MeNHCS2Na)	36,9	31,5	50	55
Phosphorus (yellow or white)	36,7	49,2	51	27
Malathion	35,7	30,5	52	57
Ethylene oxide	34,9	29,8	53	58

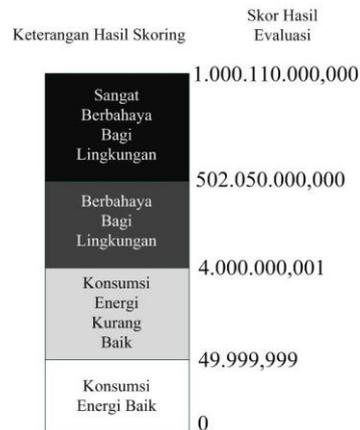
Tabel 2. Jangkauan energi pembentukan kembali material sisa berdasarkan proses penanganannya[4]

Exhibit 11: Energy Impacts for MSW Management Options Compared to Landfilling (Million Btu/Ton)

Material/Product	Source Reduction Minus Landfilling			
	Current Mix of Inputs	100% Virgin Inputs	Recycling Minus Landfilling	Combustion Minus Landfilling
Aluminum Cans	-90.20	-201.08	-153.29	0.10
Aluminum Ingot	-127.46	-127.46	-114.37	0.10
Steel Cans	-31.35	-37.06	-20.49	-17.63
Copper Wire	-122.87	-123.86	-83.12	0.04
Glass	-7.46	-8.02	-2.65	0.00
HDPE	-61.79	-67.68	-50.89	-20.10
LDPE	-71.62	-71.62	-0.53	-20.00
PET	-50.92	-52.00	-32.60	-10.77
LLDPE	-66.96	-66.96	-0.53	-20.06
PP	-67.20	-67.20	-0.53	-20.07
PS	-75.58	-75.58	-0.53	-18.13
PVC	-49.01	-49.01	-0.53	-8.06
PLA	-30.95	-30.95	NA	-8.55
Corrugated Containers	-22.15	-27.00	-15.20	-6.85
Magazines/Third-class Mail	-33.59	-33.63	-1.06	-5.31
Newspaper	-36.85	-41.08	-16.88	-8.00
Office Paper	-36.47	-37.16	-9.96	-6.35
Phonobooks	-40.59	-40.59	-12.32	-8.00
Textbooks	-35.48	-35.54	-0.91	-6.35
Dimensional Lumber	-3.85	-3.85	0.26	-8.28
Medium-density Fiberboard	-11.93	-11.93	0.53	-8.28
Food Scraps	NA	NA	0.24	-2.40
Yard Trimmings	NA	NA	0.15	-2.92
Grass	NA	NA	0.12	-2.95
Leaves	NA	NA	0.12	-2.95
Branches	NA	NA	0.26	-2.81
Mixed Paper				
Mixed Paper (general)	NA	NA	-20.57	-6.90
Mixed Paper (primarily residential)	NA	NA	-20.59	-6.89
Mixed Paper (primarily from offices)	NA	NA	-21.03	-6.35
Mixed Metals	NA	NA	-61.17	-12.20
Mixed Plastics	NA	NA	-41.83	-15.48
Mixed Recyclables	NA	NA	-15.22	-7.00
Mixed Organics	NA	NA	0.20	-2.49
Mixed MSW	NA	NA	0.01	-4.67
Carpet	-91.59	-91.59	-22.10	-7.79
Personal Computers	-957.27	-957.27	-30.22	-6.79
Clay Bricks	-5.66	-5.66	NA	NA
Concrete	NA	NA	-0.63	NA
Fly Ash	NA	NA	-5.29	NA
Tires	-72.16	-74.78	-4.24	-29.02
Asphalt Concrete	-2.21	-2.21	-1.75	-0.53
Asphalt Shingles	-3.70	-3.70	-2.98	-9.03
Drywall	-4.12	-4.12	-3.17	-0.53
Fiberglass Insulation	-5.29	-6.12	-0.53	-0.53
Vinyl Flooring	-11.19	-11.19	-0.53	-8.06
Wood Flooring	-14.98	-14.98	-0.53	-11.03

Note: Negative energy impacts = Energy savings.
NA = Not applicable.

Jangkauan nilai yang dihasilkan dari metode ini setelah memasukan koefisien adalah dari 0 sampai 1 milyar dengan 0 sampai 4 juta diartikan proses manufaktur tersebut tidak mengandung zat berbahaya dan 4 juta sampai 1 milyar menandakan proses manufaktur tersebut memiliki zat berbahaya. Secara lebih jelas keadaan ini dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Jangkauan hasil penilaian tingkat ramah lingkungan proses manufaktur

Studi Kasus

Pada penelitian ini dipilih satu studi kasus yang digunakan untuk mengevaluasi metode yang telah

dikembangkan. Proses *hard chroming* pada pelat 120x120x10 mm³ menjadi proses yang akan dievaluasi dengan menggunakan metode evaluasi ini. Proses *hard chroming* adalah proses pelapisan benda kerja untuk mendapatkan sifat permukaan yang diinginkan seperti keras, tahan korosi dan tampilan yang menarik. Dalam studi kasus ini, terdapat dua pelat yang berdimensi sama tetapi diproses dengan *hard chroming* yang berbeda. Pada pelat pertama akan dilakukan proses *hard chroming* selama 7 jam dan pelat kedua dilakukan proses *hard chroming* selama 12 jam.

Proses *hard chroming* mengandung *chromic acid*, H₂SO₄, aquades dan katalis dalam larutannya. Proses *hard chroming* memerlukan arus listrik awal atau biasa disebut *streg* awal selama 15 menit dengan arus listrik yang dialirkan adalah sebesar dua kali besar arus listrik pada perhitungan yang seharusnya. Perhitungan untuk mendapatkan arus listrik yang dibutuhkan adalah luas permukaan benda kerja dalam satuan dm² dikalikan dengan 30 yang akan menghasilkan nilai ampere yang diinginkan. Setiap 1 jam pelaksanaan proses *hard chroming* akan menghasilkan ketebalan 30 mikron apabila memberikan arus yang sesuai dengan petunjuk penggunaan.

Terdapat dua nilai konsumsi energi pada setiap proses *hard chroming* pada kedua pelat. Konsumsi energi pertama adalah pada saat *streg* awal dan kedua pada setelah *streg* awal sampai pada waktu yang diinginkan. Pada Tabel 4 dan 5 akan ditunjukkan perhitungan dari konsumsi energi pada kedua studi kasus.

Tabel 4. Perhitungan konsumsi energi pada pelat 1 selama 7 jam

Total Konsumsi Energi

Pemakaian Energi	Total Pemakaian Energi
(1) 2.035,99 kJ	14.510,64 kJ
(2) 12.474,65 kJ	
Untuk Konsumsi energi	Pemberatan Konsumsi energi
(1) 13,196 kJ/mm ³	(1) 1,852 kJ/mm ³
(2) 5,989 kJ/mm ³	(2) 5,149 kJ/mm ³
Total Konsumsi Energi	7,000 kJ/mm ³

Tabel 5. Perhitungan konsumsi energi pada pelat 2 selama 12 jam

Total Konsumsi Energi

Pemakaian Energi	Total Pemakaian Energi
(1) 2.035,99 kJ	23.751,12 kJ
(2) 21.715,13 kJ	
Untuk Konsumsi energi	Pemberatan Konsumsi energi
(1) 13,196 kJ/mm ³	(1) 1,131 kJ/mm ³
(2) 5,989 kJ/mm ³	(2) 5,476 kJ/mm ³
Total Konsumsi Energi	6,607 kJ/mm ³

Terdapat perbedaan besar nilai konsumsi energi pada pelat 1 dan 2 dikarenakan pelat 2 diberikan energi pada konsumsi energi yang lebih kecil lebih banyak dibandingkan pelat 1. Nilai konsumsi energi pada pelat 2 akan lebih mendekati nilai konsumsi energi sebesar 5,989 [kJ/mm³] dibandingkan pelat 1.

Proses *hard chroming* mengandung *chromic acid* yang pada tabel US EPA mempunyai nilai bahaya yang tinggi untuk lingkungan. Larutan proses *hard chroming* pada studi kasus ini tidak dikeluarkan ke lingkungan sehingga perlu dilakukan penyesuaian tabel penilaian zat berbahaya yaitu penilaian pada zat yang tidak dikeluarkan ke lingkungan. Didapati nilai bahaya untuk *chromic acid* yang tidak dikeluarkan ke lingkungan adalah 60,8. Tabel 6 dan 7 menunjukkan hasil perhitungan metode evaluasi untuk proses *hard chroming* pada pelat 1 dan 2.

Tabel 6. Perhitungan skor keseluruhan proses *hard chroming* pelat 1

	Nilai	Keterangan
Nilai Bahaya	608.000.000	
Total Konsumsi Energi	7,000	
Nilai Keseluruhan	608.000.007,000	Sangat berbahaya bagi Lingkungan

Tabel 7. Perhitungan proses *hard chroming* pada pelat 2

	Nilai	Keterangan
Nilai Bahaya	608.000.000	
Total Konsumsi Energi	6,607	
Nilai Keseluruhan	608.000.006,607	Sangat berbahaya bagi lingkungan

Secara umum, terdapat hasil nilai evaluasi yang sedikit berbeda pada kedua kasus yang telah dievaluasi. Proses yang dilalui pelat 2 dapat dikatakan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pelat 1 dikarenakan pelat 2 menggunakan bobot yang lebih besar pada konsumsi energi yang kecil. Zat berbahaya yang terkandung pada proses manufaktur kedua pelat tidak berbeda sehingga pada kedua proses pada studi kasus tidak mengalami perbedaan penilaian pada zat berbahaya.

Kesimpulan dan Saran

Metode yang dihasilkan pada penelitian ini secara umum dapat menilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses manufaktur. Nilai terbesar pada metode evaluasi tingkat ramah lingkungan proses manufaktur adalah 1 milyar dan yang terkecil adalah 0. Jangkauan dari 0 sampai 4 juta mengartikan proses dari mesin manufaktur tidak menggunakan zat berbahaya. Pada jangkauan 4 juta sampai 1 milyar diartikan proses pada mesin manufaktur menggunakan zat berbahaya. Pada metode ini, mudah untuk membedakan proses manufaktur yang berbahaya dan tidak dengan perbedaan jangkauan tersebut.

Metode evaluasi dapat digunakan untuk memberikan penilaian proses *hard chroming* 7 jam dan 12 jam. Secara umum hasil yang didapatkan akan berbeda untuk setiap proses sebanding dengan banyaknya energi yang digunakan pada konsumsi energi tertentu. Hasil penilaian yang didapatkan akan jauh lebih besar apabila proses manufaktur tersebut melibatkan zat berbahaya dalam proses yang dilakukan.

Metode yang telah dikembangkan ini akan memberikan penilaian evaluasi yang sangat berbeda jangkauannya antara nilai bahaya (orde ratusan juta) dengan total konsumsi energi (order ribuan). Untuk itu metode ini perlu dikembangkan agar kedua nilai tidak mempunyai jangkauan yang sangat jauh berbeda. Selain itu diperlukan juga

penyusunan metode evaluasi untuk energi yang dikeluarkan pada kegiatan lain dalam berproduksi seperti pengangkutan, perawatan dan aktivitas pendukung lainnya. Lebih lanjut, diperlukan pula metode evaluasi tambahan bagi penanganan emisi berbahaya yang dihasilkan, dapat berupa penambahan atau pengurangan hasil penilaian sehingga akan memberikan penilaian yang lebih adil.

Daftar Pustaka

- [1] A. Joshi, Green Manufacturing, University of Alabama, April 2012, www.slideshare.net/ashwinbj/green-manufacturing-12678894, diakses pada tanggal 07 April 2014 pukul 16:42.
- [2] D. Dornfeld, Manufacture for Green and Sustainable Design (Part II), Environmental Leader, Desember 2009, www.environmentalleader.com/2009/12/30/manufacture-for-green-and-sustainable-design-part-ii/, diakses pada tanggal 08 April 2014 pukul 21:06.
- [3] T. Gutowski, J. Dahmus, dan A. Thiriez, Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes, Cambridge, <http://www.avonmotorsport.com>, diakses pada tanggal 2 Maret 2014.
- [4] US EPA, EPA's Waste Reduction Model (WARM) ENERGY IMPACTS, http://epa.gov/epawaste/conserves/tools/warm/pdfs/Energy_Impacts.pdf, diakses pada tanggal 02 April 2014.
- [5] G. A. Davis, L. Kincaid, and M. Swanson, Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies: A Method for Ranking and Scoring Chemicals by Potential Human Health and Environmental Impacts, Tennessee, September 1994.