

Implementasi Metode *Life cycle sustainability assessment* Untuk Meraih *Sustainable manufacturing* Pada Industri Manufaktur: Kajian Literatur

Galuh Zuhria Kautzar^{*1)}, Ishardita Pambudi Tama²⁾, dan Yeni Sumantri²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jln. Mayjend Haryono 167, Kota
Malang, 65145, Indonesia

Email: galuhzuhriakautzar@gmail.com, kangdith@ub.ac.id, yeni@ub.ac.id

ABSTRAK

Industri manufaktur selain memberikan dampak yang positif bagi pertumbuhan ekonomi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karenanya, diperlukan implementasi inisiatif lingkungan serta penilaian *sustainability* pada seluruh siklus hidup produk di industri manufaktur untuk menghasilkan produk yang *sustainable*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan *review* dari penelitian sebelumnya mengenai *sustainable manufacturing* dan *life cycle sustainability assessment* (LCSA) dan implementasinya pada industri manufaktur. Penelitian ini merupakan penelitian berjenis kajian literatur yang menggunakan penelitian terdahulu sebagai acuannya. Penelitian terdahulu didapatkan dari beberapa *publisher* jurnal dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, yakni 2009-2019. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam mengimplementasikan metode LCSA dibutuhkan kerangka/metode baru dalam mengintegrasikan ketiga metode yang ada sehingga tujuan dari *sustainable manufacturing* dapat dicapai. Selain itu, dikarenakan LCSA merupakan metode yang tergolong baru dan belum adanya standar yang dapat digunakan sebagai acuan akan membuka peluang bagi peneliti berikutnya dalam melakukan penelitian menggunakan topik ini.

Kata kunci: *life cycle sustainability assessment, sustainable manufacturing*

1. Pendahuluan

Industri manufaktur memiliki dampak yang signifikan bagi pertumbuhan dan perkembangan global dikarenakan meningkatnya jumlah penduduk dan peningkatan permintaan akan produk guna memperbaiki kualitas hidup. Oleh karenanya, manufaktur memerankan peran yang sangat penting baik di dalam sistem ekonomi dan sosial karena akan berkontribusi terhadap penciptaan pekerjaan dan juga peningkatan taraf hidup (Haapala et al., 2011). Namun, industri manufaktur sering disalahkan sebagai sumber utama dari degradasi lingkungan dan permasalahan sosial lainnya (Azapagic 2003; Azapagic and Perdan 2000).

Saat ini, *sustainable manufacturing* menjadi isu yang sangat penting di antara industri di seluruh dunia. Meraih *sustainable manufacturing* telah diakui sebagai kebutuhan kritis dikarenakan berkurangnya sumber daya alam yang tidak terbarukan, ketatnya peraturan terkait lingkungan, kesehatan dan keselamatan kerja, serta meningkatnya pilihan konsumen akan produk yang lebih ramah lingkungan (Amrina & Vilsu, 2015). Konsep *sustainability* telah menjadi subjek perdebatan sejak tahun 1987 dengan adanya laporan Brundland mengenai lingkungan dan perkembangan “*Our Common Future*” yang menghasilkan definisi pertama yang cukup terkenal dari *sustainable development*, yaitu perkembangan untuk memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (World Commission on Environment and Development, 1987). *Sustainable manufacturing* merupakan salah satu bagian dari konsep *sustainable development* (Priyanka, 2017). United States *Department of commerce* (2010) mendefinisikan *sustainable manufacturing* sebagai proses pembuatan produk, dimana dalam pengaplikasiannya mampu mengurangi dampak negatif lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen serta ekonomis.

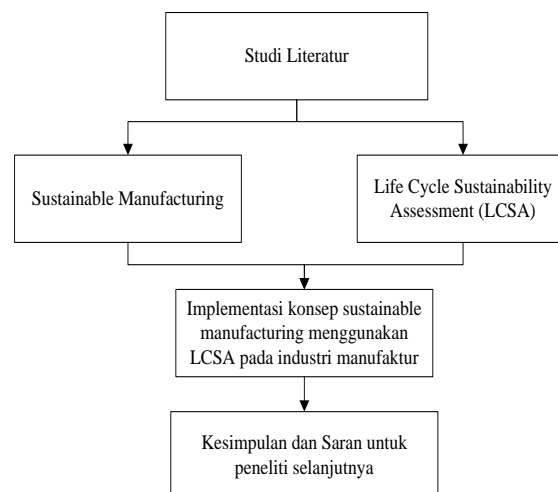
Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan konsep *sustainable manufacturing* adalah *Life cycle sustainability assessment* (LCSA). LCSA mempertimbangkan

aspek *sustainability* dalam serangkaian siklus hidup dari sebuah produk untuk menghilangkan dampak negatif yang dihasilkan. Dalam pengaplikasiannya, LCSA merupakan penggabungan dari tiga jenis teknik, yaitu *Life cycle assessment* (LCA) untuk menilai dampak lingkungan, *Life cycle costing* (LCC) untuk menghitung nilai ekonomi dari sebuah produk serta *Social life cycle assessment* (SLCA) untuk menilai dampak sosial yang dihasilkan (Finkbeiner, Schau, Lehmann, & Traverso, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan review mengenai penggunaan metode *Life cycle sustainability assessment* (LCSA) sebagai upaya untuk meraih *sustainable manufacturing* pada industri manufaktur. Pada penelitian ini, beberapa jurnal yang terkait dengan *sustainable manufacturing* dan *life cycle sustainability assessment* (LCSA) pada industri manufaktur telah direview secara menyeluruh. Hasil dari penelitian ini menunjukkan tantangan terbesar dalam mengimplementasikan metode LCSA untuk meraih *sustainable manufacturing*. Selain itu, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi peneliti berikutnya dalam menentukan *research gap* serta memberikan pengetahuan mengenai implementasi metode *Life cycle sustainability assessment* (LCSA) pada industri manufaktur.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian berjenis *literature review*, dimana menurut Hasibuan (2007), *literature review* berisi uraian tentang teori, temuan dan bahan penelitian lain yang diperoleh dari bahan acuan untuk dijadikan landasan kegiatan penelitian. Dalam penelitian ini, beberapa jurnal di dapatkan dari beberapa publisher jurnal yang meliputi springer.com, sciencedirect, dan mdpi.com. *Keyword* yang digunakan yaitu “*sustainable manufacturing*” dan “*life cycle sustainability assessment*”. Jurnal yang digunakan sebagai bahan kajian literatur terbatas pada rentang tahun 2009-2019. Berikut merupakan alur metode penelitian pada penelitian ini.



Gambar 1. Alur penelitian

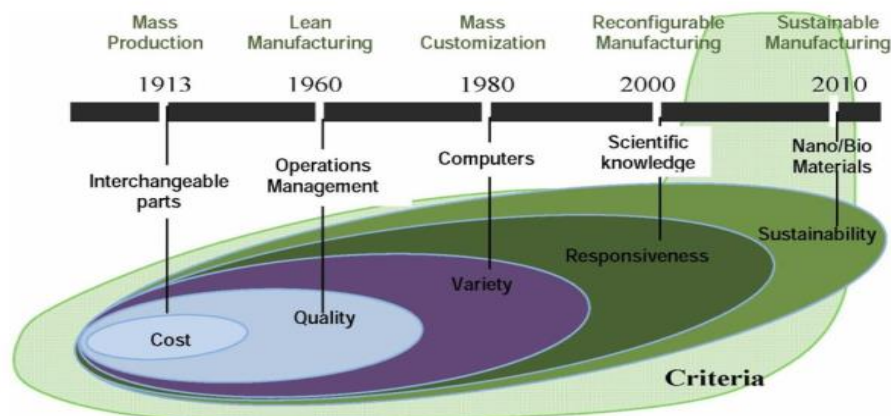
3. Hasil dan Pembahasan

Evolusi manufaktur dimulai sebelum tahun 1913 dengan adanya konsep *mass manufacturing*. *Mass manufacturing* mempunyai prinsip untuk memproduksi produk dalam skala besar dan produksi dengan kecepatan tinggi untuk meningkatkan keuntungan dan juga memberikan kepuasan kepada konsumen (Bi, 2013). Selanjutnya pada tahun 1960-1970an, kemampuan dari manufaktur global dianggap mampu untuk meningkatkan kompetisi di antara supplier. Dampak dari kompetisi ini adalah permintaan konsumen akan produk dengan kualitas

yang lebih baik, sehingga muncullah konsep *lean manufacturing* di awal tahun 1960an. *Lean manufacturing* fokus pada pengurangan berbagai macam limbah guna memenuhi keinginan konsumen. Dengan mengeliminasi limbah, kualitas dari produk akan meningkat, waktu dan biaya produksi akan berkurang (Jordan et al, 2001).

Konsep *mass customization* telah muncul pada tahun 1980an dikarenakan perkembangan teknologi informasi. Selain itu, pasar manufaktur global saat ini sedang mengalami kejenuhan sehingga menyebabkan perusahaan ditekan untuk menghasilkan produk baru dengan kecepatan lebih cepat untuk bertahan pada pasar (Bi, 2011). *Mass customization* memungkinkan produsen untuk memproduksi berbagai macam produk dan jasa dengan biaya yang sama dengan *mass manufacturing* (Pine, 1993). Konsep ini juga memberikan proses yang fleksibel pada volume yang tinggi dan pada biaya yang rendah (Tihonen, 2017). Selanjutnya pada abad 20, kompetisi pada skala global dan perubahan teknologi yang cepat dibutuhkan untuk menciptakan sistem manufaktur yang dapat ditingkatkan menjadi teknologi dan fungsi baru (Next Generation Manufacturing Project, 1997). Konsep ini juga dikenal sebagai *reconfigurable manufacturing* (Bi, 2011). *Configurable manufacturing* akan memungkinkan fleksibilitas baik dalam memproduksi berbagai macam produk maupun sistemnya juga.

Saat ini, konsumen tidak hanya peduli dengan harga dan kualitas, tetapi juga inisiatif keberlanjutan yang di implementasikan oleh perusahaan (Nordin, 2014). Inisiatif keberlanjutan telah menjadi keharusan dikarenakan hal tersebut menunjukkan beban yang signifikan terhadap lingkungan (Haapala et al., 2011). Dengan demikian, perusahaan manufaktur dipaksa untuk mengubah paradigma sistem mereka untuk mengakomodasi kebutuhan keberlanjutan (Bi, 2011). Berikut merupakan gambar mengenai evolusi manufaktur.



Gambar 2. Evolusi Manufaktur

Sumber: Fatimah (2014)

Menurut OECD, prinsip *sustainable manufacturing* adalah untuk mengurangi intensitas bahan baku yang digunakan, emisi, konsumsi energi sambil mempertahankan dan memperbaiki nilai dari sebuah produk bagi masyarakat dan organisasi (Amrina, Andalas, & Yusof, 2011). Disisi lain, Mihelcic et al. mengusulkan definisi dari *sustainable manufacturing* yang relevan dengan konteks teknik sebagai desain dari sumber daya manusia dan sistem industri untuk memastikan bahwa penggunaan sumber daya alam tidak akan menyebabkan menurunnya kualitas hidup dikarenakan berkurangnya peluang ekonomi di masa depan atau dikarenakan dampak yang merugikan kondisi sosial, lingkungan dan kesehatan manusia.

Jani (2017) mendeskripsikan definisi *sustainable manufacturing* sebagai kreasi dari produk manufaktur yang mampu mengurangi dampak lingkungan, menggunakan listrik dengan sebaik mungkin, melestarikan aset alam yang juga aman bagi karyawan, grup, konsumen, dan juga bernilai ekonomis. Definisi tersebut memiliki kesamaan dengan definisi *sustainable*

manufacturing yang diusulkan oleh US Department of Commerce, yakni kreasi dari produk manufaktur yang mampu untuk mengurangi dampak lingkungan, melestarikan energi dan sumber daya alam yang aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen serta bernilai ekonomis.

Sustainable manufacturing merupakan kemampuan dalam menggunakan sumber daya alam secara cerdas untuk memenuhi aspek ekonomi, lingkungan dan social, melestarikan lingkungan dan mampu memperbaiki kualitas hidup (Garetti and Taisch 2012). Selain itu, *sustainable manufacturing* dapat diadopsi sebagai strategi yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja *sustainability* secara keseluruhan dari sebuah organisasi sehingga dapat meningkatkan keunggulan bersaing (Singh, Olugu, & Musa, 2016). Oleh karena itu, industri manufaktur dituntut untuk mengimplementasikan konsep *sustainable manufacturing* guna mengurangi dampak negative yang dihasilkan.

Industri manufaktur telah memberikan dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan global. Hal tersebut dikarenakan adanya peningkatan jumlah penduduk sehingga permintaan akan barang juga meningkat seiring dengan perbaikan kualitas hidup (Haapala et al., 2011). Selain itu, industri manufaktur juga memiliki peran yang penting dalam sektor ekonomi dan sosial. Berdasarkan data yang dirilis oleh United Nations Statistics Division di tahun 2016 tercatat bahwa Indonesia menduduki peringkat 4 dari 15 negara yang industri manufakturnya memberikan kontribusi sebesar lebih dari 10 persen terhadap Produk Domestik Bruto (PDB). Hal tersebut menunjukkan bahwa industri manufaktur merupakan salah satu sektor yang menjanjikan dan mampu mempercepat pembangunan bangsa (Islam and Karim, 2011). Disisi lain, industri manufaktur sering disalahkan sebagai sumber utama masalah degradasi lingkungan dan berbagai masalah sosial, sehingga industri manufaktur diharuskan untuk menunjukkan tanggung jawab mereka dengan menilai dan melaporkan kinerja sehubungan dengan *sustainable development* dalam organisasi mereka (Azapagic 2003; Azapagic and Perdan 2000).

Saat ini, konsumen tidak hanya peduli dengan harga dan kualitas, tetapi juga inisiatif keberlanjutan yang di implementasikan oleh perusahaan (Nordin, 2014). Inisiatif keberlanjutan telah menjadi keharusan dikarenakan hal tersebut menunjukkan beban yang signifikan terhadap lingkungan (Haapala et al., 2011). Dengan demikian, perusahaan manufaktur perusahaan manufaktur dipaksa untuk mengubah paradigma sistem mereka untuk mengakomodasi kebutuhan keberlanjutan (Bi, 2011).

LCSA merupakan sebuah metode yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan konsep *sustainable manufacturing*. LCSA merupakan penilaian *sustainability* selama siklus hidup dari sebuah produk (Finkbeiner et al., 2010). Menurut Kloepffer (2008), LCSA merupakan penggabungan antara *Life cycle assessment (LCA)*, *Life cycle costing (LCC)*, dan *Social life cycle assessment (SLCA)*. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa *Life cycle sustainability assessment (LCSA)* mempertimbangkan tiga pilar *sustainability* dalam implementasinya, yaitu lingkungan, social dan ekonomi. Ketiga pilar tersebut yang juga sering disebut dengan *triple bottom line* atau *three pillars*. Penilaian atas tiga pilar tersebut dianggap penting dalam mencapai tujuan *sustainability*. Pilar lingkungan, ekonomi, dan social harus seimbang dan disesuaikan satu sama lain (Kloepffer, 2008).

Menurut UNEP/SETAC (2011) *Life cycle sustainability assessment (LCSA)* adalah metode pengembangan untuk mengevaluasi semua dampak dan manfaat negatif lingkungan, sosial dan ekonomi dalam proses pengambilan keputusan menuju produk yang lebih berkelanjutan selama siklus hidup mereka. Pada dasarnya, beberapa pengertian yang disebutkan di atas memiliki pengertian yang sama, dimana LCSA merupakan salah satu metode penilaian *sustainability* yang dilakukan selama siklus hidup dan mempertimbangkan tiga pilar *sustainability* (lingkungan, ekonomi, dan social).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fauzi, Lavoie, Sorelli, & Heidari (2019), jumlah publikasi ilmiah dari tahun 2007 hingga 2018 mengenai LCSA mengalami peningkatan yang cukup pesat. Penelitian tersebut dilakukan di berbagai sector, seperti transportasi, gedung, energi, *agriculture*, manufaktur, serta pengolahan limbah. Seiring dengan pesatnya penelitian mengenai LCSA, UNEP/SETAC menerbitkan sebuah dokumen untuk memperkenalkan konsep LCSA, serta menyediakan arahan untuk mempraktekkan LCSA (Fauzi et al., 2019).

Disisi lain, Onat, Kucukvar, Halog, & Cloutier, (2017) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa meskipun minat dalam meneliti LCSA terus berkembang, tetapi penelitian yang dilakukan terbatas pada disiplin ilmu tertentu, seperti ilmu lingkungan, ekonomi, teknik, serta ilmu social. Menurut Gloria, Guinée, Kua, Singh, & Lifset (2017) menyebutkan bahwa aplikasi LCSA diklasifikasikan berdasarkan tiga dimensi perbaikan, yaitu memperluas dampak lingkungan yang menyertakan indikator ekonomi dan sosial, memperluas level analisis dari sebuah produk menjadi analisis global dan ekonomi yang luas, serta memperdalam mekanisme penilaian dengan menyertakan penilaian scenario, efek rebound, umpan balik dan interkoneksi, MCDM / keterlibatan pemangku kepentingan, dan analisis ketidakpastian. Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh Onat, Kucukvar, Halog, & Cloutier, (2017), 58% penelitian yang dilakukan merupakan product-level, sementara 37%nya merupakan studi kuantitatif dampak pada level nasional sedangkan sisanya dapat melakukan perhitungan dampak global dari sebuah produk. Selain itu, dalam penelitian tersebut juga dijelaskan bahwa dari 109 jurnal yang direview, 56 jurnal membahas aplikasi LCSA dengan berbagai macam studi kasus, sementara mayoritas studi lain hanya fokus pada aspek metodologi dari LCSA itu sendiri dan beberapa studi lainnya membahas mengenai aspek studi literature dari LCSA.

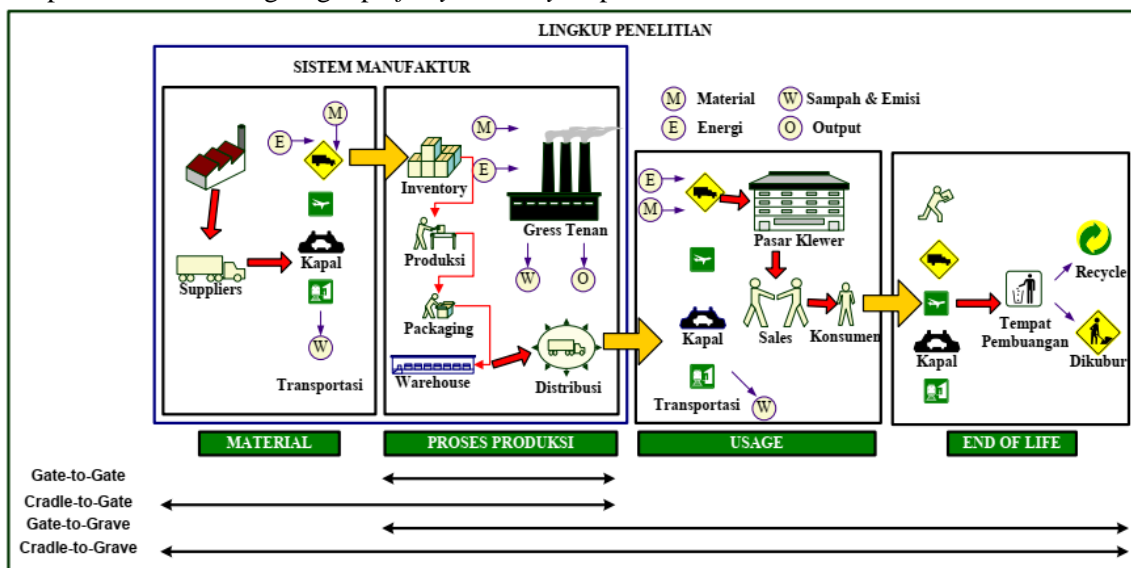
Meskipun implementasi LCSA dianggap mampu memberikan kontribusi bagi pemangku kepentingan dalam menentukan keputusan, namun dalam implementasinya masih terdapat berbagai tantangan. Tantangan tersebut meliputi pengumpulan data serta integrasi ketiga pilar *sustainability*. LCSA sendiri merupakan metode yang tergolong baru dan belum ada panduan mengenai pengintegrasian ketiga metode yang terlibat di dalamnya. Sejauh ini, LCA adalah satu-satunya metode yang memiliki standar ISO, yaitu ISO series 14040: 14044 (ISO 2006a, 2006b), sementara LCC masih terbatas pada bangunan saja, yakni ISO 2008. Sedangkan SLCA hanya memiliki pedoman saja, yaitu UNEP/SETAC 2009. Belum adanya standar yang dipatenkan membuat banyak peneliti mengembangkan kerangka ini berdasarkan studi kasus yang dilakukan.

Hannouf & Assefa (2017) mencoba mengembangkan kerangka Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) dalam mengintegrasikan tiga metode dalam LCSA. Penelitian tersebut merupakan penelitian berjenis studi kasus pada proses produksi *High Density Polyethylene* (HDPE) di Alberta, Canada. Tujuan penelitian ini adalah memperbaiki kinerja *sustainability* pada proses produksi HDPE. Metode yang digunakan yaitu *Life cycle sustainability assessment* (LCSA). LCSA digunakan dalam penelitian ini untuk menilai dampak lingkungan, ekonomi dan sosial dari proses produksi HDPE. Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari lima langkah, yaitu penentuan tujuan serta batasan penelitian, analisis inventori, *impact assessment*, dan interpretasi. Pada tahap interpretasi, hasil dari LCSA akan dianalisa lebih lanjut menggunakan kerangka Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) guna memberikan usulan perbaikan. Sedangkan tahap terakhir yaitu diskusi dan kesimpulan. Dalam penelitian ini, penulis memberikan beberapa pernyataan mengenai LCSA, diantaranya LCSA seharusnya mampu untuk berkontribusi pada *sustainable development* dari level penilaiannya yaitu level sistem produk. Namun, kontribusi terhadap *sustainable development* seharusnya tidak hanya fokus pada menjauhi dampak negatif dalam pengambilan keputusan melalui pendekatan penilaian yang terintegrasi dan komparatif. Kontribusi yang diberikan seharusnya melebihi itu dan memberikan solusi perbaikan untuk

meningkatkan dampak *sustainability* yang positif dari sebuah sistem produk (Hannouf & Assefa, 2017).

Disisi lain, Chen & Holden (2018) mengusulkan kerangka integrasi LCSA menggunakan konsep *tiered life cycle sustainability assessment* (LCSA). Kerangka LCSA yang diusulkan dalam penelitian ini akan didefinisikan dalam tiga tingkat mulai dari *streamline* LCSA sampai *temporally* dan *spatially specific* LCSA. Perbedaan spesifikasi dari tiap tingkat termasuk jumlah dan tipe dari indikator dampak dan permintaan untuk jumlah dan kualitas dari input data. Aplikasi dari LCSA bertingkat ini didemonstrasikan menggunakan survei data dari peternakan susu Irlandia. Berat dari keseluruhan nilai *sustainability* berbeda untuk tiap tingkatan dikarenakan jumlah indikator dan spesifikasi data. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kebutuhan untuk menyeimbangkan kinerja lingkungan, ekonomi dan sosial dari peternakan. LCSA bertingkat menyediakan kerangka untuk membandingkan *sustainability* dari peternakan susu menggunakan kriteria evaluasi yang sama, dengan tingkat I yang menyediakan entri level LCSA, dan spesifikasi lebih detail dan komprehensif di tingkat II dan tingkat III mengurangi efek ketidakpasian (dikarenakan kualitas data dan jumlah indikator) pada skor *sustainability*.

Selain itu, dikarenakan LCSA merupakan metode penilaian *sustainability* berdasarkan siklus hidupnya, maka pengumpulan data merupakan salah satu tantangan tersendiri bagi peneliti. Namun, hal tersebut dapat diatasi mengingat ruang lingkup LCSA sendiri yang beragam, mulai dari *cradle to grave*, *cradle to gate*, *cradle to cradle* serta *gate to gate*. Berikut merupakan contoh ruang lingkup *life cycle analysis* pada industri batik.



Gambar 3. Contoh ruang lingkup life cycle analysis
Sumber: (Suryadarmawan, 2014)

Penelitian LCSA berjenis studi kasus sangat dibutuhkan untuk memberikan arahan serta pemahaman bagi peneliti selanjutnya serta menunjukkan seberapa bagusnya tiga metode (LCA, LCC, dan SLCA) bekerja dalam konteks aplikasi yang berbeda untuk mencapai tujuan *sustainability* pada level sistem produk (Hannouf & Assefa, 2017). Selain itu, pengembangan kerangka dalam mengintegrasikan ketiga metode tersebut juga dibutuhkan untuk memberikan kontribusi dalam aplikasi metode LCSA pada penelitian selanjutnya

4. Simpulan

Life cycle sustainability assessment (LCSA) merupakan metode penggabungan antara *Life cycle assessment* (LCA), *Life cycle costing* (LCC) serta *Social life cycle assessment* (SLCA). Ketiga metode tersebut memiliki fungsi yang berbeda, LCA sebagai metode untuk menilai dampak lingkungan, LCC menilai dampak ekonomi yang dihasilkan, serta SLCA menilai

dampak social yang dihasilkan dari serangkaian siklus hidup sebuah produk. Integrasi dari ketiga metode tersebut sangat dibutuhkan guna mencapai *sustainable development goals*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai LCSA sejauh ini mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Tapi sayangnya, berbagai penelitian tersebut hanya terfokus pada beberapa sektor dan disiplin ilmu seperti transportasi, gedung, energi, agriculture, manufaktur, serta pengolahan limbah dan pada disiplin ilmu seperti ilmu lingkungan, ekonomi, teknik, serta ilmu social. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa dari beberapa jurnal tersebut membahas mengenai LCSA dalam bentuk studi kasus, metodologi LCSA dan sebagian kecil membahas mengenai studi literature. Oleh karenanya, tidak menutup kemungkinan bagi peneliti selanjutnya untuk terus mengembangkan konsep ini baik dalam bentuk studi kasus ataupun studi literature.

Selain itu, dalam penelitian ini juga dipaparkan mengenai tantangan yang dihadapi dalam mengimplementasikan LCSA. Salah satu diantaranya adalah belum adanya standar yang bisa digunakan sebagai acuan. Seperti yang sudah dijelaskan di analisis dan pembahasan bahwa dari ketiga metode pada LCSA hanya ada satu metode yang memiliki standar, yakni LCA (ISO series 14040: 14044 (ISO 2006a, 2006b)). Sedangkan dua metode lainnya belum memiliki standar. Selain itu, dikarenakan LCSA adalah penilaian *sustainability* berdasarkan siklus hidupnya, maka pengumpulan data dapat menjadi tantangan tersendiri bagi peneliti. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan baru bagi peneliti berikutnya mengenai *life cycle sustainability assessment* dan *sustainable manufacturing*.

Daftar Pustaka

- Amrina, E., Andalas, U., & Yusof, S. (2011). Key performance indicators for *sustainable manufacturing* evaluation in automotive companies Key Performance Indicators for *Sustainable manufacturing* Evaluation in Automotive Companies, (December). <https://doi.org/10.1109/IEEM.2011.6118084>
- Amrina, E., & Vilsa, A. L. (2015). Key Performance Indicators for *Sustainable manufacturing* Evaluation in Cement Industry. *Procedia CIRP*, 26, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.173>
- Fauzi, R. T., Lavoie, P., Sorelli, L., & Heidari, M. D. (2019). Exploring the Current Challenges and Opportunities of *Life cycle sustainability assessment*, 1–17. <https://doi.org/10.3390/su11030636>
- Finkbeiner, M., Schau, E. M., Lehmann, A., & Traverso, M. (2010). Towards *life cycle sustainability assessment*. *Sustainability*, 2(10), 3309–3322. <https://doi.org/10.3390/su2103309>
- Gloria, T., Guinée, J., Kua, H. W., Singh, B., & Lifset, R. (2017). Charting the Future of *Life cycle sustainability assessment*: A Special Issue. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1449–1453. <https://doi.org/10.1111/jiec.12711>
- Haapala, K. R., Sutherland, J. W., Haapala, K. R., Hall, R., Camelio, J., & Sutherland, J. W. (2011). A Review of Engineering Research in *Sustainable manufacturing*, (July 2014). <https://doi.org/10.1115/1.4024040>
- Hannouf, M., & Assefa, G. (2017). *Life cycle sustainability assessment* for Sustainability Improvements: A Case Study of High-Density Polyethylene Production in Alberta, Canada. *Sustainability*, 9(12), 2332. <https://doi.org/10.3390/su9122332>
- Hannouf, M., & Assefa, G. (2018). Subcategory assessment method for *social life cycle assessment*: a case study of high-density polyethylene production in Alberta, Canada. *International Journal of Life cycle assessment*, 23(1), 116–132. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1303-1>
- Kloepffer, W. (2008). *Life cycle sustainability assessment* of products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). *International Journal of Life cycle assessment*, 13(2), 89–94. <https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376>

- Onat, N., Kucukvar, M., Halog, A., & Cloutier, S. (2017). Systems Thinking for *Life cycle sustainability assessment*: A Review of Recent Developments, Applications, and Future Perspectives. *Sustainability*, 9(5), 706. <https://doi.org/10.3390/su9050706>
- Singh, S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2016). Development of *Sustainable manufacturing Performance Evaluation Expert System* for Small and Medium Enterprises. *Procedia CIRP*, 40, 609–614. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.142>
- Suryadarmawan, V. A., Teknik, J., Fakultas, I., & Surakarta, U. M. (2014). Analisis Cradle-To-Grave Produk Batik Cabut (Studi Kasus : Griya Batik Gress Tenan Laweyan).