

## Kajian Daur Hidup Terhadap Proses Produksi *Sodium Metabisulfite* Menggunakan Metode CML-IA *Baseline*

Naufal Fawwaz Alesandry<sup>1</sup>, Alma Vita Sophia<sup>1</sup>, Denny Dermawan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
Surabaya, 60111

\*E-mail: [denny.dermawan@ppns.ac.id](mailto:denny.dermawan@ppns.ac.id)

### Abstrak

*Sodium Metabisulfite* merupakan salah satu jenis bahan kimia yang banyak dipergunakan, umumnya sebagai pemutih dan pengawet makanan. Salah satu produsen *Sodium Metabisulfite* berada di Kota Gresik dengan skala pasar internasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi *Sodium Metabisulfite*. Penelitian dilakukan dengan cakupan kajian *gate-to-gate*. Dalam menunjang pelaksanaan penelitian, dipergunakan *software* SimaPro 9.5.0.0 sebagai alat bantu, untuk dapat menganalisis dampak yang dihasilkan. Metode CML-IA *baseline* dipergunakan sebagai metode analisis dampak. Berdasarkan hasil penelitian, didapati bahwa nilai untuk kategori dampak *abiotic depletion* adalah sebesar 7,78E+02 kg Sb eq, *abiotic depletion (fossil fuels)* sebesar 2,26E+05 MJ, *global warming* sebesar 6,46E+07 kg CO<sub>2</sub> eq, *human toxicity* sebesar 9,89E+02 kg 1,4-DB eq, *photochemical oxidation* sebesar 6,94E+03 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq, *acidification* sebesar 1,72E+05 kg SO<sub>2</sub> eq, dan *eutrophication* sebesar 1,07E+02 kg PO<sub>4</sub>--eq. Hasil analisis *hotspot* menunjukkan bahwa *global warming* menjadi kategori dampak dengan kontributor dampak terbesar.

**Keywords:** *Life Cycle Assessment, Sodium Metabisulfite, SimaPro, CML-IA baseline, Global Warming*

### 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur merupakan salah satu jenis industri yang banyak mengalami perkembangan. Salah satu jenis industri manufaktur yang memiliki perkembangan pesat salah satunya adalah industri produk kimia. Hal ini didukung dengan sebagaimana pentingnya produk bahan kimia itu sendiri. Produk-produk kimia seringkali digunakan dan dimanfaatkan untuk sektor industri lain seperti makanan, otomotif, pertanian, dan masih banyak lagi. Seperti industri lainnya, industri kimia juga memiliki beberapa tahapan proses produksi di dalamnya. Dalam rangkaian proses produksi ini tentu memiliki adanya potensi pencemaran terhadap lingkungan, apalagi industri manufaktur merupakan sektor industri yang perlu mendapatkan perhatian lebih karena dampak dari prosesnya memiliki potensi besar mencemari lingkungan (Zainab dkk, 2020).

*Sodium metabisulfite* merupakan salah satu jenis bahan kimia yang banyak dipergunakan khususnya bagi industri yang bergerak di sektor pangan, yang mana jenis bahan kimia ini digunakan sebagai pemutih dan pengawet makanan. Salah satu produsen *sodium metabisulfite* berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Dalam proses produksinya, industri ini mengandalkan beberapa unit utama seperti kompresor, *burning stove*, *cooling pool*, *washer*, reaktor, *centrifuge*, *mother liquor tank*, *alkali tank*, *dryer*, *bagging*, serta *scrubber*. Dalam kajian ini, analisis dilakukan terhadap keseluruhan proses produksi, agar didapatkan hasil dampak total yang representatif.

Metode *Life Cycle Assessment*, merupakan sebuah metode yang dipergunakan untuk mendapat nilai dampak dari daur hidup suatu proses. ISO 14040 mendefinisikan *Life Cycle Assessment (LCA)* sebagai kompilasi dan evaluasi masukan, keluaran, dan potensi dampak sistem produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya (Sala dkk, 2021). Penelitian mengenai kajian LCA terhadap industri kimia sebelumnya pernah dilakukan oleh Prashantsinh, dkk (2015) pada industri produsen soda ash dengan menggunakan metode GaBi, dan Naukkarinen (2023) pada industri pemroduksi asam sulfat dengan menggunakan metode CML 2001 dan juga ReCiPe midpoint 2016 untuk proses analisisnya. Pada penelitian ini kajian ditujukan pada proses produksi *sodium metabisulfite* dengan menggunakan metode CML-IA *baseline* sebagai metode analisis dampaknya.

### 2. METODOLOGI

LCA merupakan sebuah metode yang mana penerapannya memerlukan beberapa langkah utama. Langkah-

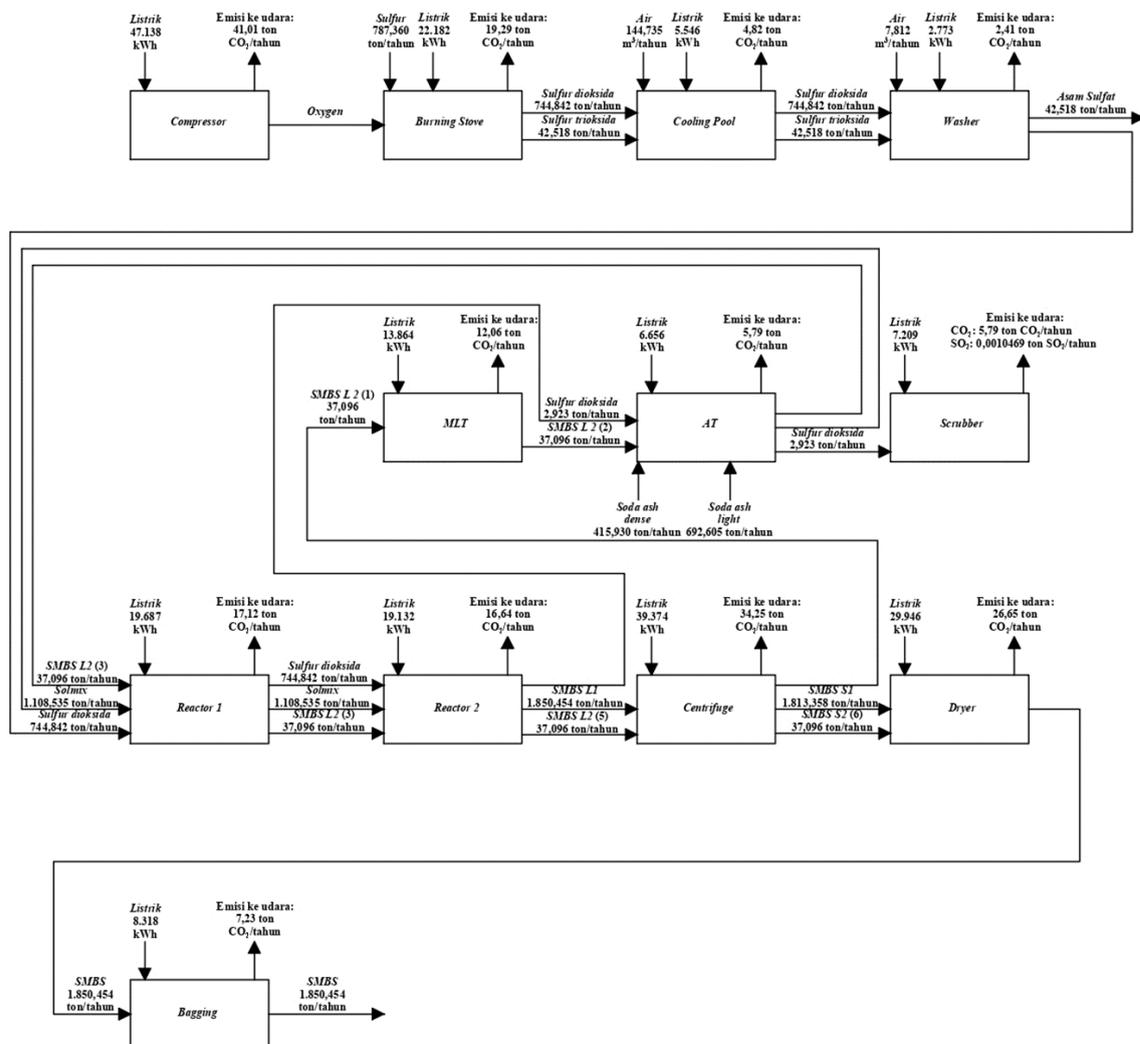
langkah dari metode LCA sendiri mengacu pada ISO 14040:2016. Di dalam ISO 14040:2016, disebutkan bahwa tahapan LCA terdiri dari: (1) *goal and scope*, yang memuat tujuan, batasan sistem, serta asumsi apa saja yang akan diterapkan dalam kajian. (2) *Life Cycle Inventory*, yang memuat data-data yang berkaitan dengan masukan dan keluaran seperti material atau energi dalam sebuah proses. (3) *Life cycle impact assessment*, yang mana memuat terkait analisis dampak yang dihasilkan dari proses yang dikaji sebelumnya. Dalam tahapan LCIA, dipergunakan metode CML (*Centrum voor Milieukunde Leiden*) sebagai metode untuk menganalisis hasil dampak yang ditimbulkan. Penggunaan metode CML didasari dengan menyesuaikan potensi dampak yang dihasilkan dalam proses produksi *sodium metabisulfite* dengan *impact assessment* yang dimiliki oleh CML. Salah satu kategori dampak yang paling penting ialah *acidification* yang mana berkaitan dengan proses produksi yang banyak menggunakan gas sulfur dioksida, didukung dengan satuan dampak yang dihasilkan oleh CML berupa kg SO<sub>2</sub> eq. (4) *Interpretation*, yang merupakan tahapan untuk penentuan kesimpulan dari apa yang sebelumnya terdapat pada hasil *life cycle inventory* serta *life cycle impact assessment*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam pelaksanaan kajian, dipergunakan *software* penunjang berupa SimaPro versi 9.5.0.0 untuk membantu mengidentifikasi dampak yang dihasilkan. Adapun tahapan kajian LCA adalah sebagai berikut

**3.1 Goal and Scope**

Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan dalam proses produksi *sodium metabisulfite*. Ruang lingkup dari kajian LCA yang dilakukan terbatas pada skala *gate-to-gate* yang meliputi unit kompresor, *burning stove*, *cooling pool*, *washer*, reaktor, *centrifuge*, *mother liquor tank*, *alkali tank*, *dryer*, *bagging*, dan juga *scrubber*. *Scope* dari kajian dapat dilihat seperti pada gambar neraca massa berikut.



Gambar 1 Neraca Massa

### 3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

*Life Cycle Inventory* (LCI) merupakan fase evaluasi siklus hidup (LCA) yang melibatkan kompilasi dan kuantifikasi *input* dan *output* untuk sistem produk selama siklus hidupnya. Hal ini mencakup beberapa informasi seperti emisi, energi, dan bahan yang terkait dengan setiap fase siklus hidup produk, dari ekstraksi bahan dasar hingga pembuangan. (Arvidsson & Ciroth, 2021). Data *input* dan *output* dari setiap elemen proses, termasuk bahan, konsumsi energi, dan emisi yang dihasilkan, dikembangkan selama tahap LCI. Data yang diambil dari monitoring internal perusahaan merupakan data yang dipergunakan dalam penelitian ini. Data yang digunakan adalah akumulasi satu tahun dari proses produksi *sodium metabisulfite*. Sebagai gambaran untuk tahapan *life cycle inventory*, **Tabel 1** merupakan contoh inventori dari siklus hidup unit *Washer*.

**Tabel 1** *Life Cycle Inventory*

Unit	Keterangan	Material/Komponen	Kuantitas	Satuan
Washer	Input	Listrik	2.773	kWh
		Sulfur dioksida	744,842	ton
		Sulfur trioksida	42,518	ton
		Air	7,812	m <sup>3</sup>
	Output	Sulfur dioksida	744,842	ton
		Asam sulfat	42,518	ton
	Emisi	CO <sub>2</sub>	2,41	ton CO <sub>2</sub>

**Tabel 1** menggambarkan mengenai data inventori dari unit *washer* yang mana nantinya akan dimasukkan sebagai data yang dipergunakan dalam *software* SimaPro 9.5. Seperti yang tertera pada tabel, diketahui bahwa unit *washer* memiliki *input* berupa energi listrik sebesar 2.773 kWh, sulfur dioksida sebesar 744,842 ton, sulfur trioksida sebesar 42,518 ton, serta air sebesar 7,812 m<sup>3</sup>. Untuk *output*, terdapat sulfur dioksida sebesar 744,842 ton dan juga asam sulfat sebesar 41,518 ton. Di lain sisi, proses yang terdapat pada unit *washer* juga memiliki potensi emisi berupa CO<sub>2</sub> sebesar 2,41 ton CO<sub>2</sub>.

### 3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap *life cycle impact assessment* dimaksudkan untuk dapat mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang dapat dihasilkan dalam suatu proses. Pada tahapan ini, dilakukan penerjemahan nilai data yang terdapat dalam *life cycle inventory* ke dalam nilai dampak lingkungan (Rosenbaum, 2018).

#### a. Characterization

*Characterization* merupakan tahapan penilaian dampak yang mana dilakukan dengan mengalikan substansi kategori dampak dengan faktor karakterisasi (Ketrin & Rosariawari, 2024). Nilai karakterisasi pada proses produksi *sodium metabisulfite* dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut ini.

**Tabel 2** Hasil analisis *Characterization*

Unit	Impact Categories						
	Abiotic Depletion	Abiotic Depletion (fossil fuels)	Global Warming (GWP100a)	Human Toxicity	Photochemical Oxidation	Acidification	Eutrophication
Compressor	0,00E+00	2,21E+05	6,32E+07	9,65E+02	6,79E+03	1,68E+05	1,05E+02
Burning Stove	1,52E+02	4,75E+02	1,36E+05	2,07E+00	1,46E+01	3,61E+02	2,25E-01
Cooling Pool	1,52E+02	5,13E+02	1,47E+05	2,24E+00	1,58E+01	3,90E+02	2,43E-01
Washer	1,61E+02	5,62E+02	1,61E+05	2,46E+00	1,73E+01	4,27E+02	2,66E-01
Reactor 1	1,52E+02	7,12E+02	2,04E+05	3,11E+00	2,19E+01	5,41E+02	3,37E-01
Reactor 2	1,52E+02	8,43E+02	2,41E+05	3,68E+00	2,59E+01	6,41E+02	3,99E-01
Centrifuge	0,00E+00	2,70E+02	7,71E+04	1,18E+00	8,29E+00	2,05E+02	1,28E-01
Dryer	3,05E+00	5,87E+02	1,68E+05	2,56E+00	1,80E+01	4,46E+02	2,78E-01

Unit	Impact Categories						
	Abiotic Depletion	Abiotic Depletion (fossil fuels)	Global Warming (GWP100a)	Human Toxicity	Photochemical Oxidation	Acidification	Eutrophication
MLT	3,05E+00	1,12E+02	3,20E+04	4,89E-01	3,44E+00	8,50E+01	5,29E-02
Alkali Tank	0,00E+00	4,56E+01	1,30E+04	1,99E-01	1,40E+00	3,46E+01	2,16E-02
Scrubber	0,00E+00	4,94E+01	1,41E+04	2,81E+00	2,81E+00	7,00E+01	2,34E-02
Bagging	3,05E+00	6,43E+02	1,84E+05	2,81E+00	1,98E+01	4,89E+02	3,05E-01
Total	7,78E+02	2,26E+05	6,46E+07	9,89E+02	6,94E+03	1,72E+05	1,07E+02

Hasil analisis *characterization* pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa *global warming* merupakan kategori dampak dari proses produksi *sodium metabisulfite* dengan total potensi dampak sebesar **6,46E+07** kg CO<sub>2</sub> eq.

#### b. Normalisation

Tahapan *normalisation* dilakukan dengan tujuan agar dapat mempermudah untuk mengkomparasikan antar *impact categories*. Hal ini dikarenakan dalam tahapan *normalisation*, seluruh unit satuan yang terdapat dalam tahapan *characterization* sebelumnya dihilangkan untuk kemudian nilainya disetarakan berdasarkan tiap tiap metode yang dipergunakan dalam penelitian (Oliveira dkk, 2021). Nilai normalisasi dari proses produksi *sodium metabisulfite* dapat dilihat dalam **Tabel 3** berikut.

**Tabel 3** Hasil analisis *Normalisation*

Unit	Impact Categories						
	Abiotic Depletion	Abiotic Depletion (fossil fuels)	Global Warming (GWP100a)	Human Toxicity	Photochemical Oxidation	Acidification	Eutrophication
Compressor	0,00E+00	7,02E-09	1,26E-05	1,25E-10	8,01E-07	5,96E-06	7,93E-09
Burning Stove	1,79E-06	1,51E-11	2,70E-08	2,68E-13	1,72E-09	1,28E-08	1,70E-11
Cooling Pool	1,79E-06	1,63E-11	2,92E-08	2,89E-13	1,86E-09	1,38E-08	1,84E-11
Washer	1,90E-06	1,79E-11	3,20E-08	3,17E-13	2,04E-09	1,52E-08	2,02E-11
Reactor 1	1,79E-06	2,26E-11	4,05E-08	4,01E-13	2,58E-09	1,92E-08	2,56E-11
Reactor 2	1,79E-06	2,68E-11	4,80E-08	4,75E-13	3,06E-09	2,28E-08	3,03E-11
Centrifuge	0,00E+00	8,57E-12	1,53E-08	1,52E-13	9,78E-10	7,28E-09	9,68E-12
Dryer	3,59E-08	1,87E-11	3,34E-08	3,31E-13	2,13E-09	1,58E-08	2,10E-11
MLT	3,59E-08	3,56E-12	6,36E-09	6,30E-14	4,06E-10	3,02E-09	4,01E-12
Alkali Tank	0,00E+00	1,45E-12	2,59E-09	2,57E-14	1,65E-10	1,23E-09	1,64E-12
Scrubber	0,00E+00	1,57E-12	2,81E-09	3,62E-13	3,32E-10	2,48E-09	1,77E-12
Bagging	3,59E-08	2,05E-11	3,66E-08	3,63E-13	2,33E-09	1,74E-08	2,31E-11
Total	9,18E-06	7,18E-09	1,28E-05	1,28E-10	8,19E-07	6,09E-06	8,10E-09

Pada tahapan ini, satuan unit dari setiap nilai kategori dampak dihilangkan untuk kemudian disetarakan. Hal ini membuat perbandingan antar kategori dampak dapat dilakukan. Berdasarkan pada **Tabel 3**, dapat diketahui bahwa hampir dari keseluruhan kategori dampak memiliki nilai tertinggi pada unit *compressor*, ditandai dengan adanya *highlight* berwarna kuning pada tabel. *Compressor* juga menjadi unit dengan titik *hotspot* tertinggi dengan kategori dampak *global warming* yang disebabkan oleh adanya pemanfaatan energi listrik. Pada kategori dampak lainnya yakni *abiotic depletion*, didapati nilai dampak tertingginya pada unit *washer* yang mana diakibatkan oleh adanya pemanfaatan gas yang berasal dari pembakaran sulfur.

### 3.4 Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan sebagai langkah akhir dalam kajian LCA. Interpretasi data dilakukan dengan tujuan untuk dapat menentukan berbagai isu yang memiliki keterkaitan dengan lingkungan dengan berdasarkan hasil dari analisis LCI dan LCIA.

### 3.5 Evaluasi Data

Mengacu pada SNI ISO 14044:2017, evaluasi data merupakan tahapan dari interpretasi itu sendiri yang mana memiliki tujuan untuk meningkatkan nilai reliabilitas dari sebuah penelitian. Dalam penerapannya, evaluasi data memerlukan beberapa aspek lain untuk diperhatikan guna memperjelas maksud dari evaluasi data seperti halnya aspek kelengkapan, analisis sensitivitas, serta pemeriksaan konsistensi terhadap data yang didapatkan.

#### a. Completeness Check

Pemeriksaan kelengkapan terhadap data dilakukan guna memastikan bahwa data yang telah diperoleh telah sesuai dan lengkap. Hal ini juga sekaligus memastikan bahwa data yang diperoleh telah diklarifikasi oleh pihak perusahaan.

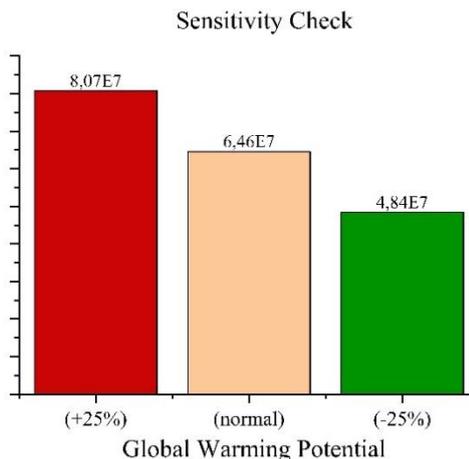
**Tabel 4** Daftar Pemeriksaan Kelengkapan Sesuai SNI ISO 14044:2017

Parameter	Kelengkapan	Keterangan
Tujuan	✓	Telah sesuai dengan tujuan LCA
Ruang lingkup	✓	Telah memasukkan ruang lingkup berupa <i>gate to gate</i>
Alur proses produksi	✓	Telah dibuat alur proses produksi dari produk <i>sodium metabisulfite</i>
Neraca massa	✓	Telah dibuat neraca massa sesuai dengan inventori
Bahan baku	✓	Telah memasukkan bahan baku
Penggunaan energi/bahan bakar	✓	Telah memasukkan penggunaan energi yang berupa listrik
Bahan kimia	✓	Telah memasukkan data pemakaian bahan kimia
Emisi	✓	Telah memasukkan data emisi yang dihasilkan
Output (produk)	✓	Telah memasukkan <i>output</i> (produk) berupa <i>sodium metabisulfite</i>
Klarifikasi data	✓	Telah dilakukan klarifikasi dengan PT/Industri terkait
Observasi data	✓	Telah dilaksanakan observasi secara langsung di lapangan

Rangkuman pemeriksaan kelengkapan yang terdapat pada **Tabel 4** mendeskripsikan perihal data apa saja yang telah dilengkapi berdasarkan *life cycle inventory*. Metode perolehan data dilakukan dengan inventarisasi oleh pihak perusahaan bersamaan dengan dilakukannya observasi, sehingga data yang didapatkan telah divalidasi oleh pihak perusahaan. Klarifikasi perusahaan terhadap data yang telah diperoleh diperlukan guna memastikan keakuratan data seperti jumlah, metode perhitungan, kelengkapan, serta kesesuaian terhadap pengolahan data yang dilakukan.

#### b. Sensitivity Check

Pemeriksaan sensitivitas dilakukan dengan mengurangi serta menambah nilai inventori masing-masing sebanyak 25% untuk kemudian di-*running* kembali melalui *software* SimaPro. Hal ini dilakukan guna melihat tingkat sensitivitas data yang didapatkan.



**Gambar 2** Grafik Analisis Sensitivitas

Berdasarkan **Gambar 2** dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan serta penurunan nilai dampak setelah dilakukannya penyesuaian terhadap nilai inventori yang ada sebelumnya. Nilai angka ini nantinya digunakan sebagai perbandingan deviasi, dimana semakin mendekati nilai nol maka data dianggap semakin sensitif.

**c. Consistency check**

Pemeriksaan konsistensi dilakukan guna memastikan bahwa asumsi, metode, serta data yang telah ditetapkan telah sesuai dengan tujuan serta ruang lingkup dari penelitian. Hasil analisis *Consistency check* terangkum pada **Tabel 5**. berikut ini.

**Tabel 5** Hasil Analisis Pemeriksaan Konsistensi

Pemeriksaan	Konsistensi	Keterangan
Sumber data	Konsisten	72% data primer dan 28% data sekunder
Akurasi data	Konsisten	Akurasi data baik karena ada bukti dari perusahaan terkait
Umur data	Konsisten	Data yang digunakan berumur 1 tahun (pada tahun 2023)
Cakupan teknologi	Konsisten	Unit proses yang dianalisis yaitu <i>compressor, burning stove, cooling pool, washer, reactor 1 dan 2, centrifuge, mother liquor tank, alkali tank, dryer, bagging</i> , serta <i>scrubber</i> .
Cakupan waktu	Konsisten	Periode data yang dipergunakan adalah antara Januari – Desember 2023
Metode yang digunakan	Konsisten	Dampak lingkungan dianalisis dengan menggunakan metode <i>CML-IA baseline</i>
Cakupan geografis	Konsisten	Indonesia

Berdasarkan **Tabel 5**, diketahui bahwa terdapat indikasi ketidakkonsistenan terhadap data yang diperoleh dimana data primer yang diperoleh tidak mencapai seratus persen keseluruhan data. Hal ini diakibatkan oleh perolehan data tidak sepenuhnya melalui pengukuran atau monitoring langsung oleh perusahaan. Meski demikian, untuk aspek lain seperti umur data, cakupan teknologi, waktu, dan geografi, serta metode yang digunakan telah bersifat konsisten secara menyeluruh.

**4. KESIMPULAN**

Dampak lingkungan dari proses produksi *sodium metabisulfite* mayoritas berasal dari pemanfaatan energi listrik yang mengakibatkan tingginya nilai emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Hal ini juga didukung dengan tingginya nilai dampak yang dihasilkan oleh beberapa *impact categories* seperti *global warming* dan juga *abiotic depletion (fossil fuels)*, yang mana kedua jenis dampak ini memiliki kontributor berupa CO<sub>2</sub>. Di lain sisi, besarnya nilai dampak *acidification* disebabkan oleh adanya pemanfaatan dan juga emisi dari gas SO<sub>2</sub> selama proses produksi berlangsung.

**5. DAFTAR PUSTAKA**

Arvidsson, R., Ciroth, A. (2021). *Introduction to “Life Cycle Inventory Analysis”*. In: Ciroth, A., Arvidsson, R. (eds) *Life Cycle Inventory Analysis . LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*. Springer, Cham.

- Ketrin, E., & Rosariawari, F. (2024). Identifikasi Dampak Lingkungan dengan Metode Pendekatan *Life Cycle Assessment* Pada Proses Produksi Pabrik Gula. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9301-9308.
- Naukkarinen, M. (2023). *Life Cycle Assessment Study Of A Sulfuric Acid Manufacturing Process In The Chemical Pulping Industry*. (Tesis, University of Technology LUT, 2023).
- Oliveira, J. A., Lopes Silva, D. A., Puglieri, F. N., & Saavedra, Y. M. B. (2021). *Life Cycle Engineering and Management of Products*. Springer International Publishing.
- Prashantsinh, M. R., Bhagchandani, C. G., & Gupta, A. (2015). *Environmental Impact of Soda Ash using LCA Tool*. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(12), 255-258.
- Rosenbaum, R.K. (2018). *Life Cycle Impact Assessment*. In: Hauschild, M., Rosenbaum, R., Olsen, S. (eds) *Life Cycle Assessment*. Springer, Cham.
- Sala, S., Amadei, A. M., Beylot, A., & Ardente, F. (2021). *The Evolution Of Life Cycle Assessment In European Policies Over Three Decades*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (26), 2295-2314.
- SNI ISO 14040-2016. *Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*.
- SNI ISO 14044-2017. *Environmental management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines*.
- Zainab, A., Burhany, D. I., & Kunci, K. (2020). Biaya Lingkungan , Kinerja Lingkungan, dan Kinerja Keuangan pada Perusahaan Manufaktur. 26–27.