

# Metode *Life Cycle Assessment* Untuk Kajian Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Bersih

Muhammad Purnama Adji<sup>1\*</sup>, Munawar Ali<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

\*Koresponden email: purnamaadji08@gmail.com

Diterima: 3 Juni 2024

Disetujui: 11 Juni 2024

## Abstract

Water treatment plants (WTPs) are critical to providing clean, safe and compliant drinking water. However, the use of chemicals and electrical energy in the process can have a negative impact on the environment. This study examines the environmental impact of WTPs using Life Cycle Assessment (LCA) methodology and SimaPro software. The study aims to investigate how the process of treating clean water affects the environment and to provide a more environmentally friendly replacement for WTP. SimaPro 9.0 is used in the LCA technique of environmental impact assessment. This includes defining the objectives and parameters of the study, collecting data (Life Cycle Inventory), analysing the results (Life Cycle Impact Assessment) and interpreting the data. According to the results of the analysis, the reservoir and lamella units are the main sources of impacts in the Endpoint Impact category. The impacts produced by the Impact 2002+ and ReCiPe 2016 approaches differed, with ReCiPe 2016 showing stronger impacts in certain categories. This study sheds light on how the WTP's clean water treatment process impacts the environment. Reducing the use of chemicals, increasing energy efficiency and implementing environmentally friendly technologies are some suggestions for improvement.

**Keywords:** *water treatment plant (WTP), life cycle assessment (LCA), impact method 2002+, ReCiPe 2016, environmental improvement*

## Abstrak

Instalasi pengolahan air, atau WTP, sangat penting dalam penyediaan air minum yang bersih dan aman serta mematuhi peraturan. Namun, karena bahan kimia dan energi listrik digunakan dalam proses ini, mungkin terdapat dampak buruk terhadap lingkungan. Penelitian ini mengkaji dampak WTP terhadap lingkungan dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dan software SimaPro. Studi ini bermaksud untuk mengkaji bagaimana proses pengolahan air bersih mempengaruhi lingkungan dan menyediakan pengganti WTP yang lebih ramah lingkungan. SimaPro 9.0 digunakan dalam teknik LCA penilaian dampak lingkungan. Menentukan tujuan dan parameter penelitian, mengumpulkan data (Inventarisasi Siklus Hidup), menganalisis hasil (Penilaian Dampak Siklus Hidup), dan menafsirkan data semuanya disertakan. Unit reservoir dan lamella merupakan sumber dampak utama dalam kategori dampak titik akhir, menurut temuan analisis. Dampak yang dihasilkan oleh pendekatan Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 berbeda-beda, dimana ReCiPe 2016 menunjukkan dampak yang lebih kuat pada kategori tertentu. Studi ini menyoroti bagaimana prosedur pengolahan air bersih WTP mempengaruhi lingkungan. Mengurangi penggunaan bahan kimia, meningkatkan efisiensi energi, dan memperkenalkan teknologi ramah lingkungan adalah beberapa saran perbaikan.

**Kata Kunci:** *instalasi pengolahan air bersih (IPA), life cycle assessment (LCA), metode impact 2002+, ReCiPe 2016, perbaikan lingkungan*

## 1. Pendahuluan

Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPA) merupakan sistem bangunan yang bertugas untuk menghilangkan polutan dari air baku sehingga dapat digunakan sesuai dengan standar kesehatan yang berlaku [1]. IPA melibatkan tiga jenis pengolahan utama yaitu fisika, kimia, dan biologis [2]. Faktor-faktor seperti karakteristik air, kandungan zat pencemar, dan hasil akhir kualitas air menjadi pertimbangan utama dalam menentukan jenis unit pengolahan yang diperlukan [3]. Unit-unit dalam IPA, seperti intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan *ion exchange*, berperan penting dalam memproses air baku menjadi air bersih yang layak konsumsi [4]. Misalnya, pada proses koagulasi, bahan kimia seperti aluminium sulfat digunakan untuk membentuk flok yang akan menyaring partikel-partikel terlarut dalam air [5].

Penggunaan teknologi ozonisasi juga menjadi salah satu metode disinfeksi yang ramah lingkungan dalam menghasilkan air bersih. Metode ini efektif dalam menurunkan kadar polutan seperti warna, senyawa organik, dan bau dalam air, sambil meningkatkan kadar oksigen terlarut [6]. Namun, penting untuk memahami dampak lingkungan dari seluruh proses pengolahan air bersih. Untuk itu, metode *Life Cycle Assessment* (LCA) menjadi solusi yang efektif dalam menganalisis dampak lingkungan dari tahap produksi hingga pemakaian. LCA memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi keseluruhan dampak lingkungan, menyediakan rekomendasi untuk peningkatan keberlanjutan, dan menggambarkan siklus hidup produk secara komprehensif [7].

Dalam implementasi LCA, penggunaan software Simapro menjadi penting karena memfasilitasi pengumpulan data, analisis, dan pengendalian dampak lingkungan dari suatu produk atau proses [8]. Simapro menawarkan berbagai metode LCA seperti Eco-indicator 99, Edip 1997 dan 2003, Ieps 2000, dan Impact 2002+, yang membantu dalam menilai dampak lingkungan secara menyeluruh [9]. Penggunaan metode LCA yang tepat, seperti CML, EDIP, TRACI, atau Impact 2002+, akan mempengaruhi hasil analisis dan keputusan untuk meningkatkan keberlanjutan proses pengolahan air bersih [10]. Dengan demikian, penelitian ini memberikan landasan teoritis yang kuat dan kerangka kerja yang sistematis dalam memahami dan mengelola dampak lingkungan dari instalasi pengolahan air bersih.

Metode Impact 2002+ menggunakan pendekatan yang menggabungkan midpoint yang sesuai untuk menghasilkan 15 kategori dampak kerusakan yang kemudian digabungkan menjadi 4 kategori kerusakan. Kategori dampak tersebut mencakup berbagai aspek seperti karsinogen, non-karsinogen, organik pernapasan, anorganik pernapasan, radiasi ionisasi, penipisan lapisan ozon, oksidasi fotokimia, ekotoksitas akuatik, ekotoksitas terestrial, asidifikasi/nutrifikasi terestrial, asidifikasi akuatik, eutrofikasi akuatik, penempatan lahan, pemanasan global, energi tidak terbarukan, dan ekstraksi mineral [11]. Sementara itu, metode ReCiPe merupakan hasil gabungan dari metode CML dan Eco-Indicator 99 yang menawarkan berbagai dampak seperti toksisitas manusia (kanker dan non-kanker), radiasi ionisasi, penipisan lapisan ozon stratosfer, partikulat, pembentukan ozon troposfer (manusia), sumber daya fosil, ekotoksitas air tawar, eutrofikasi air tawar, penggunaan/transformasi lahan, pembentukan ozon troposfer (ekologi), ekotoksitas terestrial, ekotoksitas laut, sumber daya mineral, eutrofikasi laut, dan penggunaan air [12].

Instalasi Pengolahan Air Bersih (IPA) adalah bagian krusial dalam sistem penyediaan air minum yang bertujuan untuk menghasilkan air yang aman dan sesuai dengan standar kesehatan yang berlaku, seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 [13]. Proses pengolahan air bersih dapat membahayakan lingkungan meskipun memberikan manfaat yang signifikan bagi peradaban. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan kimia termasuk polimer, desinfektan, dan koagulan oleh IPA serta ketergantungannya pada energi listrik untuk menggerakkan pompa. Oleh karena itu, IPA bertanggung jawab atas dampak penggunaan bahan kimia dan konsumsi energi listrik terhadap lingkungan.

Dalam mengidentifikasi dan mengukur dampak lingkungan dari proses pengolahan air bersih, peneliti menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan bantuan software Simapro. Metode ini telah terbukti efektif dalam menganalisis proses pengolahan air bersih serta memberikan gambaran yang objektif dan komprehensif mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan [14]. Dengan LCA, peneliti dapat mengidentifikasi titik-titik penting dalam siklus hidup IPA yang mempengaruhi lingkungan, serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi dampak negatif tersebut. Melalui pendekatan ini, IPA dapat terus meningkatkan kinerjanya menuju keberlanjutan lingkungan yang lebih baik. [15].

## 2. Metode Penelitian

Kerangka penelitian **Gambar 1** dimaksudkan untuk memudahkan pemahaman metode kerja dan alur penelitian. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan mengkaraktisasikan dampak lingkungan dari pengolahan air bersih, dengan harapan bahwa temuan analisis akan berfungsi sebagai panduan untuk memilih bahan pengganti yang sesuai secara ekologis untuk digunakan dalam fasilitas pengolahan air bersih. Program perangkat lunak SimaPro 9.0 digunakan untuk melakukan penilaian dampak lingkungan sebagai bagian dari proses *Life Cycle Assessment* (LCA).

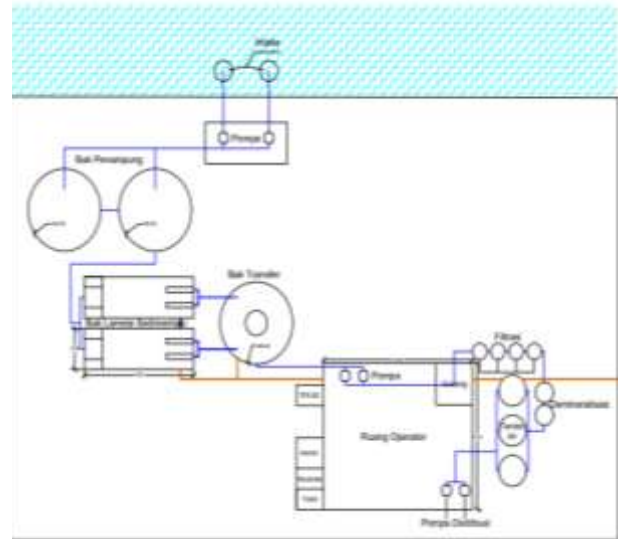
Penetapan tujuan dan parameter penelitian merupakan tahap selanjutnya. Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji dan mengetahui bagaimana pengaruh proses pengolahan air bersih terhadap lingkungan. Ruang lingkupnya mencakup beberapa tahapan proses, termasuk pengambilan, sedimentasi lamela, tangki transfer ozon, filtrasi, demineralisasi (pertukaran ion), dan reservoir. Selanjutnya dilakukan tahap pengumpulan data Life Cycle Inventory. Tahapan ini meliputi pengumpulan data primer seperti observasi

dan wawancara, serta data sekunder yang meliputi informasi penggunaan bahan kimia, kebutuhan listrik, hasil laboratorium air, serta parameter air baku dan air olahan.

Selanjutnya, teknik Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 digunakan untuk menyelesaikan tahap Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Pemeriksaan terhadap dampak lingkungan yang diakibatkannya, termasuk toksisitas manusia dan pemanasan global, telah dilakukan pada saat ini. Setelah itu, temuan analisis dianalisis untuk menentukan faktor apa yang paling berdampak terhadap lingkungan dan memberikan saran untuk inisiatif remediasi. Untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai dampak lingkungan dari instalasi pengolahan air bersih, dilakukan tahap perbandingan antara teknik Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 untuk kategori dampak endpoint.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Denah Instalasi Pengolahan Air Bersih

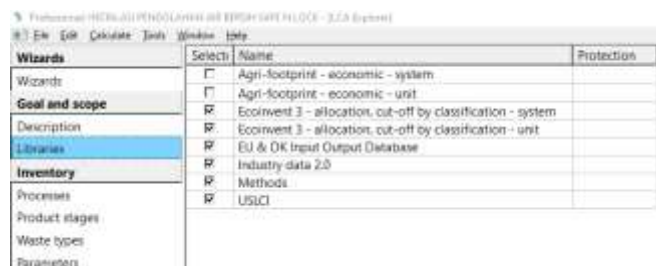
### 3. Hasil dan Pembahasan

Mengidentifikasi tujuan dan ruang lingkup, mendokumentasikan inventaris siklus hidup (LCI), penilaian dampak siklus hidup (LCIA), dan interpretasi data adalah beberapa langkah penting dalam penelitian pengolahan data penilaian dampak lingkungan menggunakan perangkat lunak SimaPro. Pemanfaatan bahan mentah dan cara memproduksi air bersih merupakan satu-satunya bidang studi. Data dari bahan kimia, bahan mentah, dan sumber energi seperti listrik yang digunakan dalam pemrosesan semuanya dimasukkan ke dalam tahap LCI. Tahap LCIA kemudian menilai dampak metode produksi air bersih terhadap lingkungan. Hasil interpretasi data digunakan untuk menentukan dampak produksi air bersih dan menyarankan cara-cara pembangunan yang sesuai.

#### 3.1 Penentuan Goal and Scope

Penelitian mengenai penilaian siklus hidup (LCA) berupaya untuk menunjukkan dengan tepat dampak lingkungan dari prosedur pengolahan air bersih dan memberikan tindakan pencegahan untuk mengurangi dampak ini. Fokus penelitian ini hanya pada tata cara pengolahan air bersih dari pintu ke pintu.

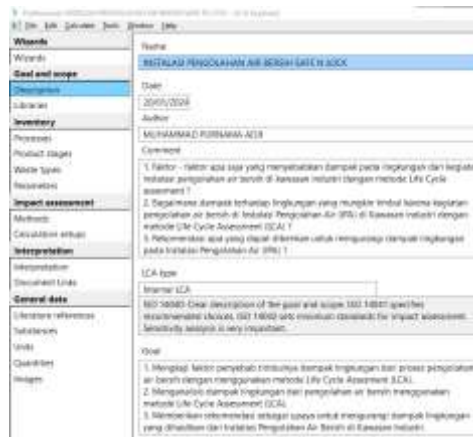
Gambar 3 dan 4 menggambarkan item yang merupakan bagian dari tujuan dan ruang lingkup aplikasi SimaPro.



Gambar 3. Penentuan Scope pada Simapro 9.5

Pada tahap ini, harus dengan jelas mendefinisikan tujuan dan batasan analisis yang dilakukan. Ini meliputi menetapkan produk atau layanan yang akan dievaluasi, serta sumber daya dan emisi yang akan dimasukkan dalam perhitungan. Selain itu, perlu memilih unit fungsi sebagai dasar perbandingan dalam

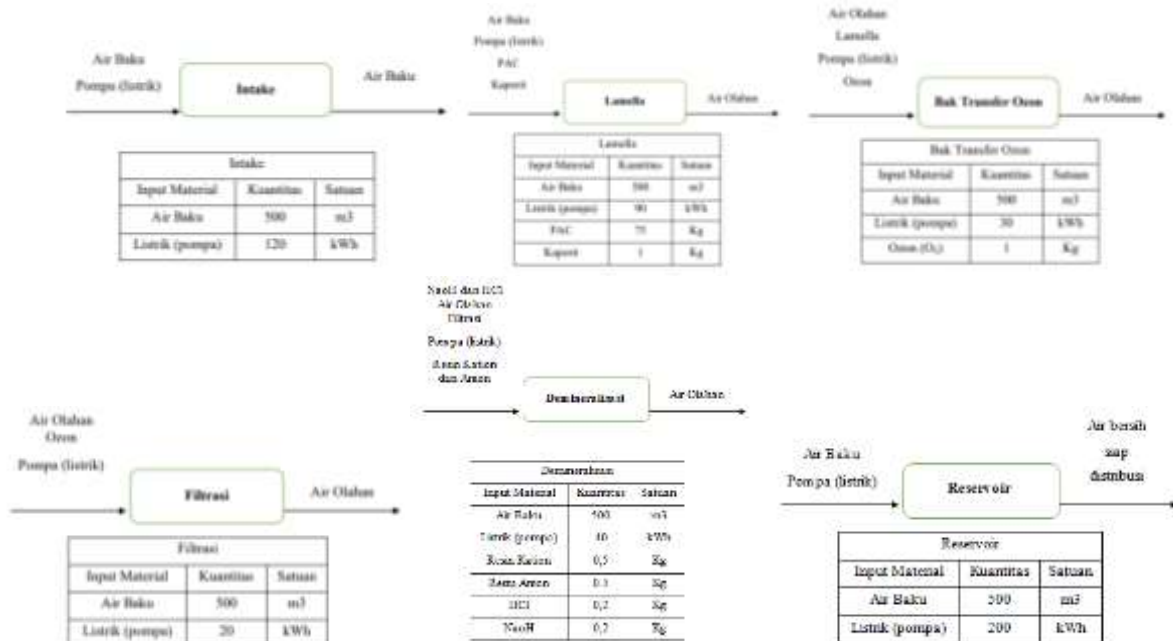
analisis, mengidentifikasi proses-proses relevan dalam siklus hidup produk atau layanan yang akan dievaluasi, dan menyesuaikan parameter serta asumsi tambahan sesuai kebutuhan analisis.



Gambar 4. Penentuan goal pada Simapro 9.5

3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) melibatkan pengumpulan data untuk dimasukkan ke dalam perangkat lunak SimaPro guna menghasilkan output yang menunjukkan dampak lingkungan dari proses pengolahan air bersih. Data ini diperoleh dari perusahaan dan mencakup berbagai unit seperti Unit Intake, Unit Lamella, Unit Bak Transfer Ozon, Unit Filtrasi, Unit Demineralisasi, dan Unit Reservoir. Misalnya, Unit Intake mengambil air baku dan listrik untuk operasi pompa, sedangkan Unit Lamella melibatkan bahan kimia seperti PAC dan Kaporit untuk proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Unit Demineralisasi melibatkan pertukaran ion menggunakan resin kation dan anion, serta bahan kimia seperti HCl dan NaOH. Semua unit ini memerlukan konsumsi listrik yang signifikan untuk pompa dan proses lainnya.



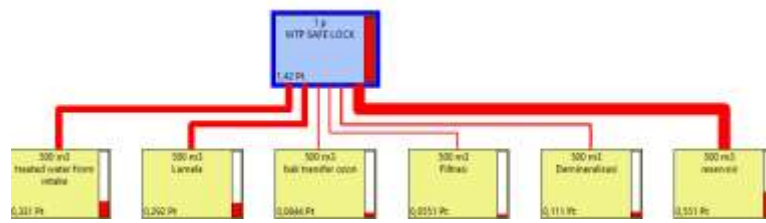
Gambar 5. Life Cycle Inventory (LCI)

3.3 Life Cycle Impact Assesment (LCIA)

Pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dilakukan klasifikasi dan penilaian terhadap dampak lingkungan yang timbul dari proses pengolahan air bersih, berdasarkan data dari *Life Cycle Inventory*. Dampak-dampak tersebut dianalisis menggunakan metode Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 untuk membandingkan dampak yang dihasilkan. Metode Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 mencakup 15 dampak. Analisis dilakukan untuk menentukan dampak terbesar dari ke-15 dampak tersebut. LCIA juga menampilkan network result yang menggambarkan hubungan antar proses yang berdampak pada lingkungan, dengan panah merah ke atas menunjukkan pengaruh pada lingkungan, garis merah

menunjukkan keterkaitan antara material dan proses, sementara garis hijau menandakan emisi yang terproses tanpa dampak pada lingkungan.

3.3.1 Metode Impact 2002 +



Gambar 6. Network Result dari proses pengolahan air bersih menggunakan metode Impact 20  
Sumber : Hasil Running Simapro

Dari network result di atas menunjukkan bahwa besarnya dampak yang dihasilkan dari proses pengolahan air bersih secara berturut – turut adalah Reservoir 0,551 Pt, Intake 0,331 Pt, Lamella 0,292 Pt, Demineralisasi 0,111 Pt, Bak transfer ozon 0,0844 Pt, dan terakhir Filtrasi sebesar 0,0551 Pt.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan yang menjelaskan dampak lingkungan dari proses pengolahan air bersih. Fase *Characterization* melibatkan penilaian besarnya materi yang berkontribusi terhadap kategori dampak berdasarkan data dalam tabel kontribusi dampak. Pada tahap ini, metode Impact 2002+ digunakan untuk mengkategorikan 15 dampak lingkungan yang dapat dilihat dalam Tabel 1, Selanjutnya, tahap *Damage Assessment* mengukur dampak harian dari setiap kategori yang dapat dilihat dalam Tabel 2. Setelah itu, Normalization dilakukan untuk menyamakan satuan dari setiap kategori dampak, dan teridentifikasi tiga dampak paling besar yang dapat dilihat dari Gambar 7. Tahap terakhir adalah *Weighting and single score*, di mana dampak dari setiap kategori dinilai dan dihitung dalam satu skor tunggal. Dampak terbesar ditemukan pada *respiratory inorganics*, *global warming*, dan *non-renewable energy*, dengan reservoir, intake, dan lamella menjadi penyumbang terbesar yang bisa dilihat dalam Tabel 3 dan Gambar 8.

Tabel 1. Characterization Impact 2002 + Pada Proses pengolahan Air bersih

Impact category	Unit	Total	Intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	2.03108	0.047229	1.81288508	0.018736976	0.00787	0.065643116	0.078715
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	16.6444	0.177623	15.9571714	0.076020472	0.0296	0.107968003	0.296038
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	13.1062	3.106597	2.48576153	0.78055751	0.51777	1.03781542	5.177661
Ionizing radiations	Bq C-14 eq	461.844	8.325962	313.359736	117.4111212	1.38766	7.482475804	13.8766
Ozone layer depletions	kg CFC-11 eq	0.0001	4.71E-07	1.4005E-05	1.86343E-07	7.8E-08	8.62235E-05	7.85E-07
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0.14064	0.023204	0.05823941	0.007360004	0.00387	0.009296334	0.038673
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	3003.24	97.53166	2593.09027	38.58096327	16.2553	95.23362822	162.5528
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1197.85	81.82863	856.805831	38.49098289	13.6381	70.70984285	136.3811
Terrestrial acid/nutries	kg SO2 eq	12.0133	2.289072	4.09544034	0.633659917	0.38151	0.798477136	3.815121
Land occupations	m2org.arable	1.244	0.109269	0.80591653	0.082353763	0.01821	0.046136406	0.182115
Aquatic acidifications	kg SO2 eq	3.1796	0.577366	1.17660963	0.164392689	0.09623	0.202730549	0.962277
Aquatic eutrophications	kg PO4 P-lim	0.34196	0.078248	0.07283705	0.021118641	0.01304	0.026305626	0.130413
Global warmings	kg CO2 eq	679.901	134.7174	212.235607	38.51401406	22.4529	47.45241956	224.5289
Non-renewable energys	MJ primary	8064.21	1539.558	2629.39632	508.516902	256.593	564.2138767	2565.93
Mineral extractions	MJ surplus	55.687	0.009615	55.5998213	0.004214447	0.0016	0.055700744	0.016025

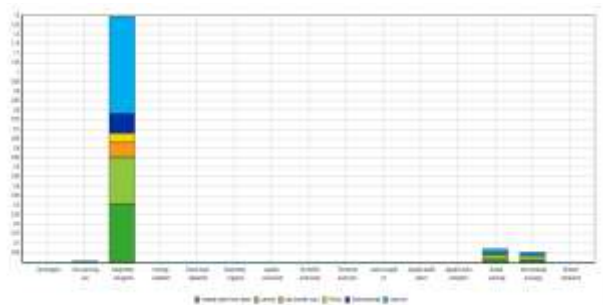
Sumber : Hasil Running Simapro

Tabel 2. Damage Assessment Impact 2002+ pada Proses pengolahan Air Bersih

Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
Carcinogens	DALY	5.7E-06	1.32241E-07	5.1E-06	5.24635E-08	2.2E-08	1.83801E-07	2.2E-07
Non-carcinogens	DALY	4.7E-05	4.97343E-07	4.5E-05	2.12857E-07	8.3E-08	3.0231E-07	8.3E-07
Respiratory inorganics	DALY	0.00917	0.002174618	0.00174	0.00054639	0.00036	0.000726471	0.00362
Ionizing radiations	DALY	9.7E-08	1.74845E-09	6.6E-08	2.46563E-08	2.9E-10	1.57132E-09	2.9E-09
Ozone layer depletions	DALY	1.1E-07	4.94245E-10	1.5E-08	1.9566E-10	8.2E-11	9.05347E-08	8.2E-10
Respiratory organics	DALY	3E-07	4.94244E-08	1.2E-07	1.56768E-08	8.2E-09	1.98012E-08	8.2E-08
Aquatic ecotoxicity	PDF*m2*yr	0.15076	0.004896089	0.13017	0.001936764	0.00082	0.004780728	0.00816
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m2*yr	9.47503	0.647264466	6.77733	0.304463675	0.10788	0.559314857	1.07877
Terrestrial acid/nutries	PDF*m2*yr	12.4938	2.380635197	4.25926	0.659006313	0.39677	0.830416222	3.96773
Land occupations	PDF*m2*yr	1.35596	0.119103313	0.87845	0.089765601	0.01985	0.050288682	0.19851

Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
Aquatic acidifications	?	0	0	0	0	0	0	0
Aquatic eutrophications	?	0	0	0	0	0	0	0
Global warmings	kg CO2 eq	679.901	134.7173557	212.236	38.51401406	22.4529	47.45241956	224.529
Non-renewable energys	MJ primary	8064.21	1539.558199	2629.4	508.516902	256.593	564.2138767	2565.93
Mineral extractions	MJ primary	55.687	0.009614966	55.5998	0.004214447	0.0016	0.055700744	0.01602

Sumber : Hasil Running Simapro



Gambar 7. Grafik Normalization pada proses pengolahan air bersih

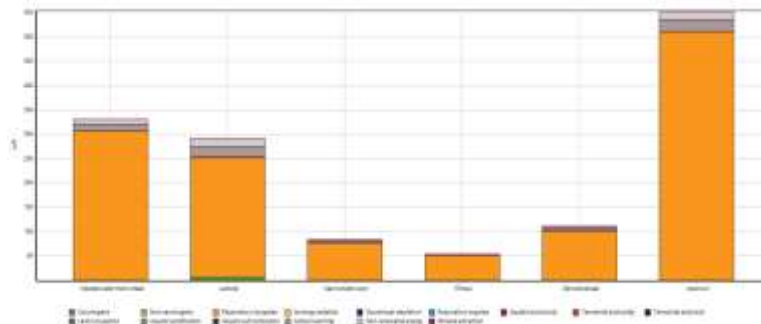
Berdasarkan grafik diatas, terdapat tiga dampak paling besar yang dihasilkan yaitu *respiratory inorganics*, *global warming*, dan *non – renewable energy*.

Tabel 3. Weighting Impact 2002+ pada proses pengolahan air bersih

Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
<b>Total</b>	Pt	1.42483	0.33068	0.29237	0.084397163	0.055114	0.111127761	0.55114
Carcinogenss	Pt	0.0008	1.9E-05	0.00072	7.39736E-06	3.11E-06	2.59159E-05	3.1E-05
Non-carcinogenss	Pt	0.00657	7E-05	0.0063	3.00129E-05	1.17E-05	4.26258E-05	0.00012
Respiratory inorganics	Pt	1.29358	0.30662	0.24534	0.077041026	0.051104	0.102432382	0.51104
Ionizing radiations	Pt	1.4E-05	2.5E-07	9.3E-06	3.47654E-06	4.11E-08	2.21556E-07	4.1E-07
Ozone layer depletions	Pt	1.5E-05	7E-08	2.1E-06	2.75881E-08	1.16E-08	1.27654E-05	1.2E-07
Respiratory organics	Pt	4.2E-05	7E-06	1.7E-05	2.21043E-06	1.16E-06	2.79197E-06	1.2E-05
Aquatic ecotoxicity	Pt	1.1E-05	3.6E-07	9.5E-06	1.41384E-07	5.96E-08	3.48993E-07	6E-07
Terrestrial ecotoxicity	Pt	0.00069	4.7E-05	0.00049	2.22258E-05	7.88E-06	4.083E-05	7.9E-05
Terrestrial acid/nutries	Pt	0.00091	0.00017	0.00031	4.81075E-05	2.9E-05	6.06204E-05	0.00029
Land occupations	Pt	9.9E-05	8.7E-06	6.4E-05	6.55289E-06	1.45E-06	3.67107E-06	1.4E-05
Aquatic acidifications	Pt	0	0	0	0	0	0	0
Aquatic eutrophications	Pt	0	0	0	0	0	0	0
Global warmings	Pt	0.0675	0.01361	0.02144	0.003889915	0.002268	0.004792694	0.02268
Non-renewable energys	Pt	0.0522	0.01013	0.0173	0.003346041	0.001688	0.003712527	0.01688
Mineral extractions	Pt	0.00037	6.3E-08	0.00037	2.77311E-08	1.05E-08	3.66511E-07	1.1E-07

Sumber : Hasil Running Simapro

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa dampak terbesar yaitu *respiratory inorganics* dengan nilai sebesar 1,29 Pt, lalu *global warming* sebesar 0,0687 Pt, dan *Non- renewable energy* sebesar 0,051 Pt.



Gambar 8. Grafik single score proses pengolahan air bersih

Berdasarkan Gambar 8 diatas menunjukkan bahwasanya unit yang menjadi penyumbang dampak terbesar ke lingkungan secara berturut – turut adalah reservoir, intake, lamella, demineralisasi, bak transfer ozon , dan filtrasi.

3.3.2 Metode ReCiPe 2016



Gambar 9. Network Result simapro menggunakan metode ReCiPe 2016  
Sumber : Hasil Running Simapro

Pada network result di atas menunjukkan dampak yang dihasilkan dari proses secara berturut – turut adalah reservoir 59,7 Pt, intake 35,9 Pt, lamella 30,2 Pt, demineralisasi 12,2 Pt, bak transfer ozon 9,28 Pt, dan filtrasi sebesar 6,15 Pt.

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan yang menjelaskan dampak lingkungan dari proses pengolahan air bersih. Fase *Characterization* melibatkan penilaian besarnya materi yang berkontribusi terhadap kategori dampak berdasarkan data dalam tabel kontribusi dampak. Pada tahap ini, metode Recipe 2016 digunakan untuk mengkategorikan 15 dampak lingkungan yang dapat dilihat dalam **Tabel 4**. Selanjutnya, tahap *Damage Assessment* mengukur dampak harian dari setiap kategori yang dapat dilihat dalam **Tabel 5**. Setelah itu, Normalization dilakukan untuk menyamakan satuan dari setiap kategori dampak, dan teridentifikasi tiga dampak paling besar: *Fine Particulate matter*, *global warming*, *human health*, dan terakhir *human carcinogenic* yang dapat dilihat dari **Gambar 10**. Tahap terakhir adalah *Weighting and single score*, di mana dampak dari setiap kategori dinilai dan dihitung dalam satu skor tunggal. Dampak terbesar ditemukan pada *Fine Particulate matter*, *global warming*, *human health*, dan terakhir *human carcinogenic*, dengan reservoir, intake, dan lamella menjadi penyumbang terbesar yang bisa dilihat dalam **Tabel 6** dan **Gambar 11**.

Tabel 4. Characterization metode ReCiPe 2016 Pada Proses pengolahan Air bersih

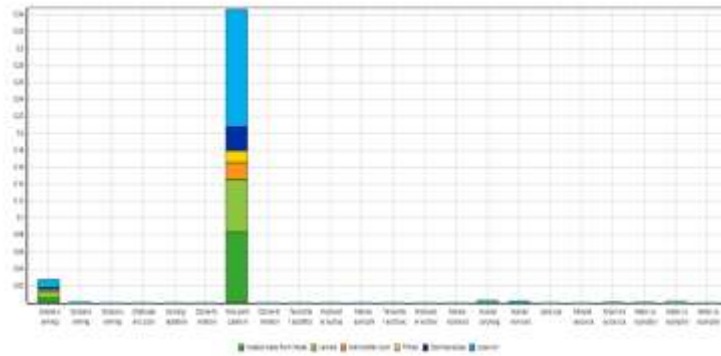
Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
Global warmings	DALY	0.00064	0.00013	0.0002	3.68664E-05	2.1E-05	4.56815E-05	0.00021
Stratospherics ozone depletions	DALY	1.6E-07	1.6E-08	4.5E-08	5.32536E-09	2.7E-09	6.17175E-08	2.7E-08
Ionizings radiations	DALY	7.4E-09	1.4E-10	5E-09	1.85239E-09	2.4E-11	1.17296E-10	2.4E-10
Ozoneiformations, Human healths	DALY	1.7E-06	3.3E-07	5.4E-07	9.08206E-08	5.5E-08	1.15699E-07	5.5E-07
Fineiparticulate matterformations	DALY	0.0083	0.00199	0.00148	0.000502313	0.00033	0.000666381	0.00332
Ozone formations, Terrestrial ecosystems	species.yr	2.4E-07	4.8E-08	7.8E-08	1.3041E-08	7.9E-09	1.66115E-08	7.9E-08
Freshwater-eutrophications	species.yr	2.6E-07	1.2E-07	1.5E-08	2.90059E-08	5.9E-08	6.17941E-09	2.9E-08
Marine-eutrophications	species.yr	4.8E-12	4.8E-13	2.8E-12	1.64511E-13	8.1E-14	4.09226E-13	8.1E-13
Terrestrial-ecotoxicitys	species.yr	5.9E-09	5.7E-10	3.8E-09	1.71321E-10	9.6E-11	2.80132E-10	9.6E-10
Freshwater-ecotoxicitys	species.yr	3.4E-10	2.8E-11	2.4E-10	7.91828E-12	4.7E-12	1.08949E-11	4.7E-11
Marine-ecotoxicitys	species.yr	9.9E-11	8.7E-12	6.9E-11	2.4963E-12	1.4E-12	3.54327E-12	1.4E-11
Humans carcinogenic toxicitys	DALY	6.6E-05	2.7E-06	5.7E-05	7.30496E-07	4.5E-07	1.06903E-06	4.5E-06
Humans non-carcinogenic toxicitys	DALY	5.1E-05	4.5E-06	3.5E-05	1.30465E-06	7.5E-07	1.69477E-06	7.5E-06
Land-uses	species.yr	1.6E-08	1.5E-09	9.3E-09	1.61326E-09	2.5E-10	6.40746E-10	2.5E-09
Mineral resource scarcitys	USD2013	1.05285	0.00025	1.05047	0.000743687	4.2E-05	0.000921337	0.00042
Fossil resource scarcitys	USD2013	23.0596	3.80977	9.39238	1.237957451	0.63496	1.634943481	6.34961
Water-consumptions	DALY	2.6E-05	4.2E-06	6E-06	3.69402E-06	3.6E-06	3.75416E-06	4.7E-06

Sumber : Hasil Running Simapro

**Tabel 5. Damage Assessment metode ReCiPe 2016 pada Proses pengolahan Air Bersih**

Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
Global warmings	DALY	0.00064	0.00013	0.0002	3.68664E-05	2.1E-05	4.56815E-05	0.00021
Stratospherics ozone depletions	DALY	1.6E-07	1.6E-08	4.5E-08	5.32536E-09	2.7E-09	6.17175E-08	2.7E-08
Ionizings radiations	DALY	7.4E-09	1.4E-10	5E-09	1.85239E-09	2.4E-11	1.17296E-10	2.4E-10
Ozoneiformations, Human healths	DALY	1.7E-06	3.3E-07	5.4E-07	9.08206E-08	5.5E-08	1.15699E-07	5.5E-07
Fineiparticulate matterformations	DALY	0.0083	0.00199	0.00148	0.000502313	0.00033	0.000666381	0.00332
Ozone formations, Terrestrial ecosystems	species.yr	2.4E-07	4.8E-08	7.8E-08	1.3041E-08	7.9E-09	1.66115E-08	7.9E-08
Freshwater-eutrophications	species.yr	2.6E-07	1.2E-07	1.5E-08	2.90059E-08	5.9E-08	6.17941E-09	2.9E-08
Marine-eutrophications	species.yr	4.8E-12	4.8E-13	2.8E-12	1.64511E-13	8.1E-14	4.09226E-13	8.1E-13
Terrestrial-ecotoxicity	species.yr	5.9E-09	5.7E-10	3.8E-09	1.71321E-10	9.6E-11	2.80132E-10	9.6E-10
Freshwater-ecotoxicity	species.yr	3.4E-10	2.8E-11	2.4E-10	7.91828E-12	4.7E-12	1.08949E-11	4.7E-11
Marine-ecotoxicity	species.yr	9.9E-11	8.7E-12	6.9E-11	2.4963E-12	1.4E-12	3.54327E-12	1.4E-11
Humans carcinogenic toxicity	DALY	6.6E-05	2.7E-06	5.7E-05	7.30496E-07	4.5E-07	1.06903E-06	4.5E-06
Humans non-carcinogenic toxicity	DALY	5.1E-05	4.5E-06	3.5E-05	1.30465E-06	7.5E-07	1.69477E-06	7.5E-06
Land-uses	species.yr	1.6E-08	1.5E-09	9.3E-09	1.61326E-09	2.5E-10	6.40746E-10	2.5E-09
Mineral resource scarcity	USD2013	1.05285	0.00025	1.05047	0.000743687	4.2E-05	0.000921337	0.00042
Fossil resource scarcity	USD2013	23.0596	3.80977	9.39238	1.237957451	0.63496	1.634943481	6.34961
Water-consumptions	DALY	2.6E-05	4.2E-06	6E-06	3.69402E-06	3.6E-06	3.75416E-06	4.7E-06

Sumber : Hasil Running Simapro



**Gambar 10. Normalization metode ReCiPe 2016 proses pengolahan air bersih**  
Sumber : Hasil running Simapro

Berdasarkan **Gambar 10** diatas, tiga dampak paling besar yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air bersih menggunakan metode ReCiPe 2016 secara berturut-turut adalah *Fine Particulate matter*, *global warming*, *human health*, dan terakhir *human carcinogenic* yang berasal dari seluruh proses instalasi pengolahan air bersih.

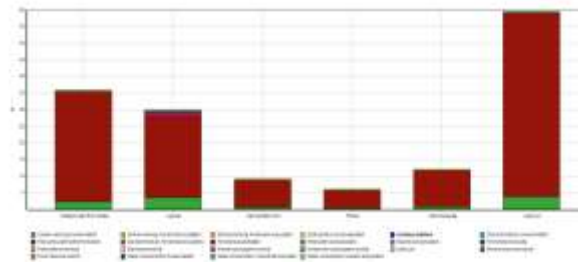
**Tabel 6. Tabel Weighting proses pengolahan air bersih menggunakan metode ReCiPe 2016**

Impact category	Unit	Total	intake	Lamela	bak transfer ozon	Filtrasi	Demineralisasi	reservoir
<b>Total</b>	Pt	153.352	35.9067	30.1523	9.281053777	6.15265	12.18557837	59.6736
Global warmings	Pt	10.7531	2.14114	3.30965	0.614931543	0.35686	0.76196774	3.56856
Stratospherics ozone depletions	Pt	0.00263	0.00027	0.00074	8.8827E-05	4.5E-05	0.001029449	0.00045
Ionizings radiations	Pt	0.00012	2.4E-06	8.4E-05	3.08978E-05	4E-07	1.95649E-06	4E-06
Ozoneiformations, Human healths	Pt	0.02815	0.00554	0.00902	0.001514888	0.00092	0.001929865	0.00923
Fine particulate matter formations	Pt	138.406	33.2347	24.7469	8.378588951	5.53912	11.11522736	55.3912
Ozoneiformations, Terrestrialiecosystems	Pt	0.06555	0.01287	0.02108	0.003526275	0.00214	0.004491736	0.02144
Freshwater-eutrophications	Pt	0.06913	0.03167	0.00414	0.007843187	0.01592	0.001670912	0.00789
Marine-eutrophications	Pt	1.3E-06	1.3E-07	7.7E-07	4.44837E-08	2.2E-08	1.10655E-07	2.2E-07
Terrestrial-ecotoxicity	Pt	0.00159	0.00015	0.00103	4.63252E-05	2.6E-05	7.57478E-05	0.00026
Freshwater-ecotoxicity	Pt	9.2E-05	7.7E-06	6.5E-05	2.1411E-06	1.3E-06	2.94598E-06	1.3E-05
Marine-ecotoxicity	Pt	2.7E-05	2.3E-06	1.9E-05	6.74998E-07	3.9E-07	9.58101E-07	3.9E-06
Humans carcinogenic toxicity	Pt	1.10379	0.04511	0.94595	0.012184672	0.00752	0.017831342	0.07519
Humans non-carcinogenic toxicity	Pt	0.84813	0.07457	0.58682	0.021761487	0.01243	0.028268755	0.12428
Land uses	Pt	0.00427	0.00041	0.00251	0.000436226	6.8E-05	0.000173258	0.00068
Mineral resource scarcity	Pt	0.00752	1.8E-06	0.0075	5.30992E-06	3E-07	6.57835E-06	3E-06
Fossil resource scarcity	Pt	0.16465	0.0272	0.06706	0.008839016	0.00453	0.011673496	0.04534
Water consumptions, Human healths	Pt	0.43199	0.06963	0.10091	0.06161625	0.05935	0.062619362	0.07786

Sumber : Hasil Running Simapro



Berdasarkan **Tabel 6** diatas, dapat dilihat bahwa dampak tertinggi yang dihasilkan adalah *fine particulate matter* 138 Pt, lalu *global warming* 10,75 Pt dan *Human Carcinogenic* sebesar 1,10 Pt.



**Gambar 11.** Single Score proses pengolahan air bersih metode ReCiPe  
Sumber : Hasil running simapro

Berdasarkan analisa grafik diatas bahwasanya unit reservoir menyumbang dampak terbesar yang diikuti oleh intake, lamella, demineralisasi, bak transfer ozon, dan filtrasi.

### 3.4 Perbandingan hasil LCIA antara Metode Impact 2002+ dan Metode ReCiPe 2016

Kedua metode LCIA menunjukkan kesamaan bahwa tiga unit penyumbang dampak terbesar berasal dari Reservoir, Intake, dan Lamella, dilihat dari *single score*. Namun, terdapat perbedaan dampak yang dihasilkan antara metode Impact 2002+ dan ReCiPe 2016. Metode Impact 2002+ menunjukkan dampak utama adalah respiratory inorganics, global warming, dan non-renewable energy, dengan nilai masing-masing 1,29 Pt, 0,0687 Pt, dan 0,051 Pt. Sementara itu, metode ReCiPe 2016 menunjukkan dampak utama adalah *fine particulate matter*, *global warming*, dan *human carcinogenic*, dengan nilai masing-masing 138 Pt, 10,75 Pt, dan 1,10 Pt. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik masing-masing metode dalam menghasilkan dampak yang berbeda. Oleh karena itu, interpretasi difokuskan pada penilaian endpoint, dengan hasil endpoint dari metode Impact 2002+ dan ReCiPe 2016 ditampilkan dalam **Tabel 7**.

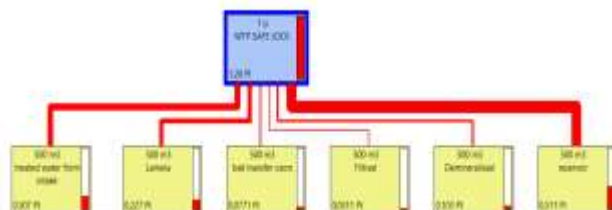
**Tabel 7.** Hasil endpoint dan midpoint dari metode Impact 2002+ dan ReCiPe 2016

endpoint metode IMPACT 2002 +			midpoint metode ReCiPe 2016		
<i>Damage</i> iCategory	Unit	Hasil	<i>Damage Category</i>	Unit	Hasil
<i>Humani</i> Health	iPt	1,28	<i>Human Health</i>	Pt	152
<i>Ecosystem</i> iQuality	iPt	0,00169	<i>Ecosystem</i>	Pt	0,57
<i>Resources</i> i	iPt	0,0526	<i>Resources</i>	Pt	0,172

### 3.5 Interpretasi

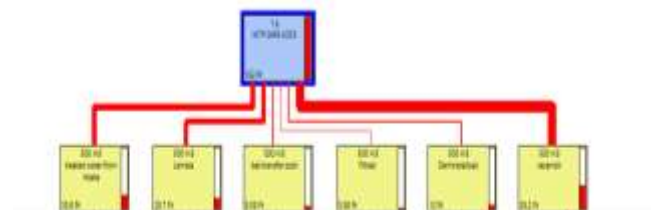
#### 3.5.1 Human Health

Dampak terhadap kesehatan manusia, dikenal sebagai *Human Health*, disebabkan oleh berbagai faktor seperti respiratory inorganics yang dominan dalam metode Impact 2002+ serta *fine particulate matter* dan pemanasan global dalam metode ReCiPe 2016. Dampak tertinggi dalam Impact 2002+ berasal dari *respiratory inorganics*, sementara dalam ReCiPe 2016 berasal dari *fine particulate matter* dan pemanasan global. Faktor utama yang berkontribusi terhadap dampak kesehatan manusia adalah penggunaan bahan kimia seperti ozon dan kaporit, serta penggunaan listrik dalam proses pengolahan air bersih. Paparan ozon dan kaporit dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, sementara konsumsi listrik yang tinggi berkontribusi pada pemanasan global melalui produksi listrik yang masih menggunakan bahan bakar fosil di Indonesia. Oleh karena itu, pengelolaan bahan kimia dan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan menjadi penting dalam meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia.



**Gambar 12.** Network result human health metode Impact 2002+

Sumber : Hasil running Simapro

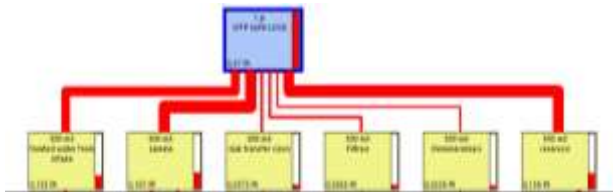


**Gambar 13.** Network Result human health metode ReCiPe 2016

Sumber : Hasil running Simapro

### 3.5.2 Ecosystem quality

Ecosystem Quality, yang merupakan dampak terkait kualitas ekosistem, mencakup penurunan keanekaragaman dan kerusakan ekosistem dari proses pengolahan air bersih. Dampak ini berasal dari mid point seperti terrestrial acid nutrification, terrestrial ecotoxicity, dan land use. Metode ReCiPe 2016 menunjukkan dampak dikarenakan eksploitasi bahan baku air sungai yang berhubungan dengan land use, dan lumpur lamella yang mengandung zat kimia. Sementara pada metode Impact 2002+, dampak tersebut disebabkan oleh aquatic dan terrestrial ecotoxicity serta terrestrial acid/nutri. Hasil dari kedua metode menunjukkan ekosistem yang rusak akibat proses pengolahan air bersih, dengan nilai masing-masing 1,61 Pt dan 0,00169 Pt.



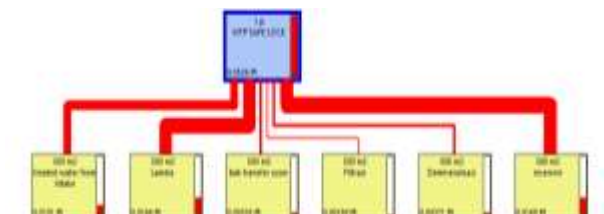
**Gambar 14.** Network Result dampak ecosystem quality metode ReCiPe 2016



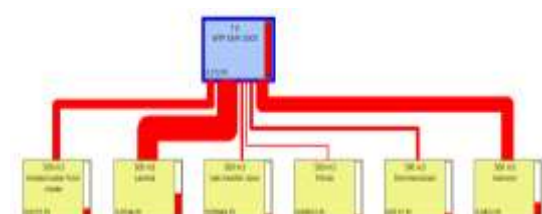
**Gambar 15.** Network Result ecosystem quality metode Impact 2002+

### 3.5.3 Resources

Dampak terhadap sumber daya alam, disebabkan oleh ekstraksi bahan baku dan bahan pendukung, tercermin dalam hasil network dari kedua metode simulasi software SimaPro. Metode Impact 2002+ menunjukkan dampak resources sebesar 0,0526 Pt, disebabkan oleh non-renewable energy dan mineral extraction, terutama karena penggunaan listrik yang tinggi dan penggunaan bahan kimia seperti PAC, kaporit, dan ozon. Sementara itu, metode ReCiPe 2016 menghasilkan dampak sebesar 0,172 Pt, terutama dari fossil resources scarcity dan mineral resource scarcity, dengan unit lamella menjadi penyumbang terbesar karena penggunaan batu bara dan ekstraksi mineral aluminium untuk PAC. Perbedaan hasil antara kedua metode disebabkan oleh perbedaan dampak midpoint dan unit penilaian, seperti dampak global warming yang mempengaruhi dampak endpoint yang berbeda, sehingga menghasilkan nilai dampak yang berbeda pula.



**Gambar 16.** Network Result Resources metode Impact 2002 +



**Gambar 17.** Network Result Resource metode ReCiPe 2016

### 3,6 Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil Life Cycle Impact Assessment (LCIA), ditemukan bahwa unit reservoir menjadi hotspot pada dampak Human Health, sementara pada dampak Ecosystem Quality dan Resources, hotspot terletak pada unit pengolahan lamella. Rekomendasi program perbaikan bertujuan untuk mengurangi penggunaan sumber daya, energi, dampak lingkungan, timbulan limbah, serta memanfaatkan sumber daya yang dapat digunakan kembali. Rekomendasi pertama melibatkan pengurangan dan substitusi bahan kimia serta efisiensi penggunaan listrik. Substitusi koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dengan Aluminium Sulfat (Alum) atau tawas serta pengurangan penggunaan kaporit tablet dan bahan kimia lainnya seperti larutan regenerasi HCl dan NaOH berhasil menurunkan dampak ecosystem quality dan human health pada kedua metode. Rekomendasi kedua menekankan efisiensi peralatan untuk mengurangi penggunaan listrik dengan memanfaatkan gravitasi dan penggantian unit lama dengan yang baru, yang menghasilkan penurunan dampak yang signifikan terutama pada dampak Human Health. Sedangkan rekomendasi ketiga, terkait dengan green building, membutuhkan lebih banyak penelitian terkait dampaknya terhadap proses pengolahan air bersih, tetapi memiliki potensi untuk mengurangi dampak terutama pada dampak Human Health yang disebabkan oleh respiratory inorganics dan fine particulate matter.

#### 4. Kesimpulan

Metode pembuatan air bersih dalam studi *Life Cycle Assessment* ini menekankan pada dampak lingkungan dari penggunaan energi dan bahan kimia termasuk ozon, poli aluminium klorida, resin kation dan anion, NaOH, dan HCl. Kesehatan manusia, kualitas ekologi, dan ketersediaan sumber daya semuanya terkena dampak signifikan, menurut analisis yang dilakukan dengan teknik Impact 2002+ dan ReCiPe 2016. Mengganti bahan kimia, menggunakan lebih sedikit listrik, dan menerapkan teknik ramah lingkungan seperti bangunan hijau di dekat lokasi produksi adalah beberapa saran perbaikan. Tindakan-tindakan ini diharapkan dapat mengurangi dampak buruk proses produksi air bersih terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

#### 5. Referensi

- [1] N. Nurhidayanti, "Study of Clean Water Management in Water Treatment Plant Grand Cikarang City," *Eng. Technol. J.*, vol. 07, no. 06, pp. 1266–1269, 2022, doi: 10.47191/etj/v7i6.02.
- [2] R. Darra, M. Bin, F. Alshamsi, S. Alhammadi, W. Al-ali, and A. Aidan, "Chapter 13 - Wastewater treatment processes and microbial community," *Metagenomics to Bioremediation*, no. 0, pp. 329–355, 2023.
- [3] F. Ramadhan, L. Siami, and Winarni, "Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Minum Solear, PDAM Tirta Kerta Raharja -Kabupaten Tangerang," *Semin. Nas. Pembang. Wil. Dan Kota Berkelanjutan*, pp. 132–141, 2019.
- [4] R. G. E. Bhaskoro and T. Ramadhan, "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang I PDAM Surya Sembada," vol. 15, no. 2, pp. 62–68, 2018.
- [5] F. Hanun, S. Jannah, R. A. Kusumadewi, and R. Ratnaningsih, "Selection Of Design Criteria For The Coagulation , Flocculation And Sedimentation Unit In The Klapanunggal Drinking Water Treatment Plant," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 01, pp. 3500–3505, 2020.
- [6] C. Abdi, R. M. Khair, and Siti Aisyah, "Pengaruh Ozonisasi Terhadap Penurunan Intensitas Warna Dan Kadar Besi ( Fe ) Pada Air Gambut," *Jukung J. Tek. Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 21–29, 2017.
- [7] I. copyright Office, "Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework," *Int. Stand. ISO 14040*, vol. 2006, 2006.
- [8] N. Deborah and M. Faiz, "Penilaian Manajemen Rantai Pasok Sustainable Packaging : Studi Literatur," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 12, no. 2, pp. 17–22, 2023.
- [9] M. Starostka-patyk, "New products design decision making support by SimaPro software on the base of defective products management," *Procedia - Procedia Comput. Sci.*, vol. 65, no. Iccmit, pp. 1066–1074, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.09.051.
- [10] H. Santoso and Ronald, "Alat Potong Kuku Dengan Limbah Kayu," *J@ti Undip*, vol. VII, no. 1, pp. 19–26, 2012.
- [11] G. A. Nurbaiti, T. Agung, and A. Ulfah, "Life Cycle Assessment ( Lca ) Sebagai Metode Kajian Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Bersih Di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji," *EnviroUS*, vol. 2, no. 1, pp. 21–27, 2022.
- [12] M. A. J. Huijbregts *et al.*, "ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 22, pp. 138–147, 2017, doi: 10.1007/s11367-016-1246-y.
- [13] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017," 2017.
- [14] D. M. Allami, M. T. Sorour, M. Moustafa, A. Elreedy, and M. Fayed, "Life Cycle Assessment of a Domestic Wastewater Treatment Plant Simulated with Alternative Operational Designs," *J. Sustain.*, vol. 15, pp. 1–16, 2023.
- [15] D. Lemos, A. Cláudia, X. Gabarrell, and L. Arroja, "Environmental assessment of an urban water system," *J. Clean. Prod.*, vol. xxx, pp. 1–9, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.04.029.