



Kajian Dampak Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar

Salsabila Prawardani¹, Tuhu Agung Rachmanto^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: tekpro611@gmail.com

Diterima: 21-08-2023

Disetujui: 11-09-2023

Diterbitkan: 30-09-2023

Kata Kunci:

Life Cycle Assessment, Pembangkit Listrik, Simapro

ABSTRAK

PLTU merupakan salah satu fasilitas publik yang selain memberikan dampak positif tetapi juga menyumbang dampak negatif. Hal ini didasari karena PLTU menghasilkan emisi, seperti pada tahap pengadaan bahan bakar dan pada proses PLTU. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi dampak yang ditimbulkan, menganalisis alternatif kegiatan yang dapat mengurangi dampak, serta menentukan prioritas penerapan alternatif kegiatan untuk mengurangi dampak lingkungan menggunakan *Life Cycle Assessment (LCA)* yang akan dianalisis melalui *software* Simapro. LCA adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan yang timbul dari seluruh tahapan siklus hidup produk. Hal ini membantu memahami bagian-bagian mana yang paling berdampak terhadap lingkungan. Tiga dampak utama yang ditemukan melalui metode *Impact 2002+* adalah *Global Warming, Non-Renewable Energy, dan Respiratory inorganics*. Hasil dari analisis menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* dengan aplikasi *Expert Choice* menyimpulkan bahwa *Carbon Capture Storage* adalah solusi perbaikan yang paling optimal.

Received: 21-08-2023

Accepted: 11-09-2023

Published: 30-09-2023

Keywords:

Life Cycle Assessment, Power Plant, Simapro

ABSTRACT

PLTU is one of the public facilities that not only has a positive impact but also has a negative impact. This is based on the fact that PLTU produces emissions, such as in the fuel procurement stage and in the PLTU process. This study aims to identify the potential impacts caused, analyze alternative activities that can reduce impacts, and determine the priority of implementing alternative activities to reduce environmental impacts using *Life Cycle Assessment (LCA)* which will be analyzed through *Simapro software*. LCA is an approach used to identify and evaluate environmental impacts arising from all stages of the product life cycle. It helps understand which parts have the most impact on the environment. The three main impacts found through the *Impact 2002+* method are *Global Warming, Non-Renewable Energy, and Respiratory inorganics*. The results of the analysis using the *Analytical Hierarchy Process (AHP)* method with *Expert Choice* application concluded that *Carbon Capture Storage* is the most optimal improvement solution.

1. PENDAHULUAN

Salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak digunakan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Oleh karena itu, dari keseluruhan pembangkit listrik di Indonesia saat ini, kebutuhan PLTU berbahan bakar batubara memegang peranan cukup besar. PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar merupakan Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap subholding perusahaan PT PLN (Persero) yang dikelola oleh PT PLN Nusantara Power di Tuban, Jawa Timur dengan kapasitas 2 x 350 MW dan merupakan salah satu PLTU yang mendukung pemenuhan kebutuhan pasokan daya listrik baik lokal maupun nasional yang berperan penting dalam penyaluran tenaga listrik melalui garda induk Tuban dan Babat.

PLTU merupakan salah satu fasilitas publik yang selain memberikan dampak positif tetapi juga menyumbang dampak negatif. Hal ini didasari karena PLTU menghasilkan emisi, seperti pada tahap pengangkutan batubara dan pada akhir proses PLTU. Penggunaan batubara dalam sektor pembangkit listrik menimbulkan potensi emisi dampak lingkungan. Semakin besar kapasitas energi listrik yang dibutuhkan, ketika proses tersebut berlangsung lebih sering, dampak lingkungan yang timbul juga akan semakin besar. Karena itu, PLTU harus bertanggung jawab atas dampak lingkungan yang terjadi.

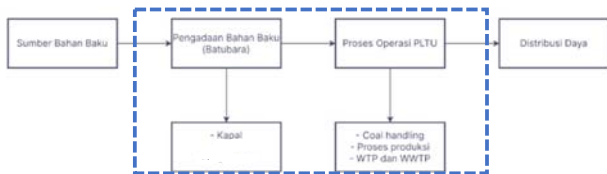
Ada sebuah pendekatan khusus yang dapat diterapkan untuk mengevaluasi dampak lingkungan, terutama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yaitu melalui metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Metode LCA memiliki kemampuan untuk mengestimasi dampak lingkungan yang muncul sepanjang seluruh tahapan siklus hidup produk, memungkinkan

identifikasi bagian yang paling berperan dalam dampak lingkungan secara signifikan. Dengan menerapkan metode LCA, diharapkan kita bisa menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan oleh PLTU Tanjung Awar-Awar selama operasinya dan memberikan rekomendasi untuk pengelolaan yang lebih ramah lingkungan.

2. METODE

2.1 Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup

Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis daur hidup pada PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara serta metode transportasi yang digunakan untuk kemudian dicari faktor penyebab dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan tersebut. Ruang lingkup bersifat *cradle to gate* yaitu dimulai dari kegiatan pengadaan, transportasi, pembongkaran, dan pengangkutan batubara serta proses operasi pembangkit listrik yang meliputi pembakaran batubara, penggunaan bahan kimia, limbah cair yang dihasilkan hingga akhir dari siklus produksi PLTU.



Gambar 1. Lingkup LCA *Cradle to Gate*

2.2. Tahap *Life Cycle Impact Assessment*

Tahapan LCIA berfungsi untuk menilai dan mengelompokkan berdasarkan besaran dampak lingkungan dari perkalian faktor karakterisasi. Pada tahapan ini dimulai dengan menggunakan metode *IMPACT 2002+* dan dipilih untuk mencari tiga kategori dampak terbesar yang dapat dilihat menggunakan penilaian normalisasi dan besaran dampak yang muncul sesuai dengan kondisi lapangan. Hasil dari tahap ini berupa hotspot, besaran setiap dampak (*characterization*) dan dampak terbesar (*normalization*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses PLTU

Proses pada PLTU yang dibahas pada penelitian ini yaitu proses pengadaan batubara menggunakan *tugboat*, pembongkaran atau *coal handling*, proses WTP, produksi listrik, dan juga proses WWTP.

3.2 Proses Pengolahan Data

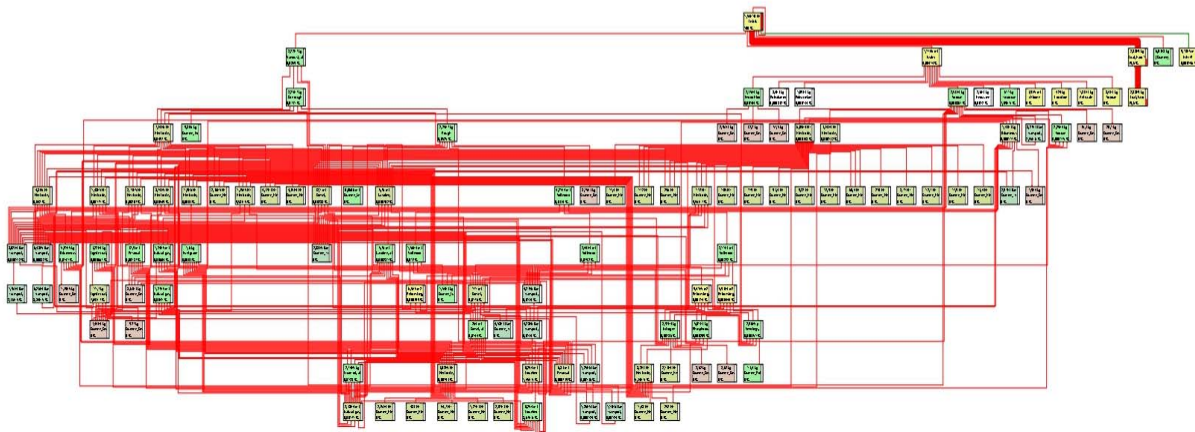
Luaran dari LCIA adalah *network result*, dimana dari hasil tersebut dapat diketahui dari unit atau proses apa saja yang paling berpengaruh terhadap lingkungan. *Network result* dari proses PLTU disajikan pada gambar di bawah sebagai berikut.

SimaPro 9.3.0.3 Educational
Project: PLTU Tanjung Awar-Awar

Network

Date: 06/08/2023 Time: 23:18:20

Product: Listrik
Project: PLTU Tanjung Awar-Awar
Category: Processing\Listrik
Method: IMPACT 2002+ V2.15 / IMPACT 2002+
Selected indicator: Single score, (Pt)
Indicator mode: Cumulated indicator
Exclude long-term emissions: Yes
Node cut-off: 0 %



Gambar 1. *Network Result* Proses PLTU

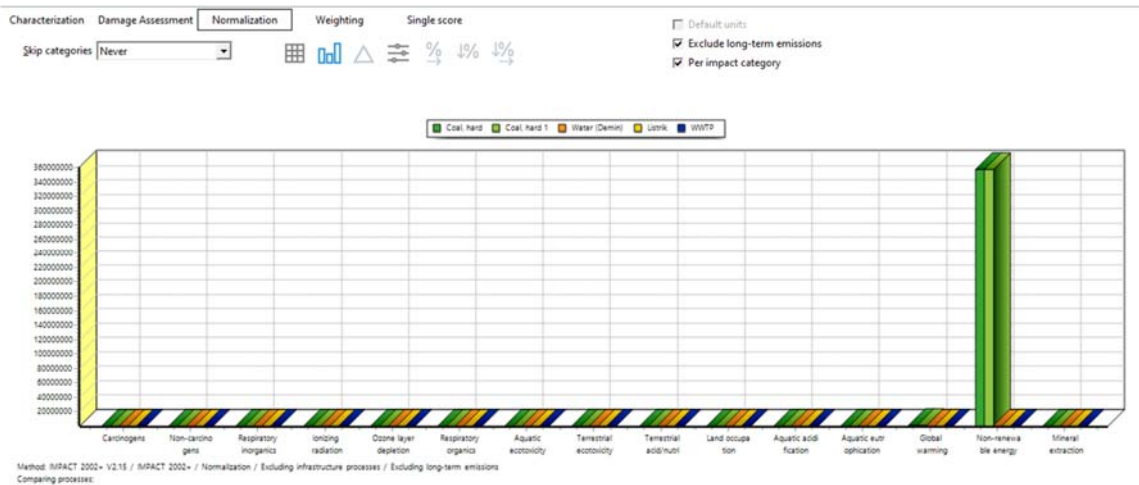
Besar dampak lingkungan pada *network result* dipengaruhi oleh input-output pada proses LCI. Berdasarkan **Gambar 1**, dapat diketahui bahwa proses pengadaan bahan baku dan juga *coal handling* berkontribusi menyumbang dampak terbesar pada proses PLTU.

Karakterisasi adalah tahap mengalikan substansi kategori dampak dengan faktor karakterisasi (faktor kesetaraan).

Tabel 1. Characterization (Karakterisasi)

| Impact category | Unit | Total | Coal, hard | Coal, hard 1 | Water (Demam) | Listrik | WWTP |
|-------------------------|--------------|-------------|------------|--------------|---------------|-------------|-----------|
| Carcinogens | kg C2H3Cl eq | 4487,6998 | - | - | 1011,6413 | 3476,0585 | - |
| Non-carcinogens | kg C2H3Cl eq | 83465,9183 | - | - | 3829,4748 | 78236,22 | 1400,2235 |
| Respiratory inorganics | kg PM2.5 eq | 2898,243434 | - | - | 97,888834 | 2800,3546 | - |
| Ionizing radiation | Bq C-14 eq | 525605,25 | - | - | 255232,43 | 270372,82 | - |
| Ozone layer depletion | kg CFC-11 eq | 0,047218787 | - | - | 0,022901664 | 0,024317123 | - |
| Respiratory organics | kg C2H4 eq | 8012,688514 | - | - | 18,060614 | 7994,6279 | - |
| Aquatic ecotoxicity | kg TEG water | 1249113500 | - | - | 3,75E+08 | 6,55E+08 | 2,19E+08 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg TEG soil | 4154766,6 | - | - | 1758362,2 | 2396404,4 | - |
| Terrestrial acid/nutri | kg SO2 eq | 90470,4301 | - | - | 1800,3131 | 88670,117 | - |
| Land occupation | m2org.arable | 1799,26236 | - | - | 873,71674 | 925,54562 | - |
| Aquatic acidification | kg SO2 eq | 23787,86923 | - | - | 636,58023 | 23151,289 | - |
| Aquatic eutrophication | kg PO4 P-lim | 399,329188 | - | - | 26,639648 | 356,92154 | 15,768 |
| Global warming | kg CO2 eq | 38035363230 | 1,59E+10 | 1,65E+10 | 105830,34 | 5,54E+09 | - |
| Non-renewable energy | MJ primary | 1,0874E+14 | 5,43E+13 | 5,43E+13 | 1702661,4 | 5,55E+10 | - |
| Mineral extraction | MJ surplus | 16536,53808 | - | - | 8045,6016 | 7952,6647 | 538,27178 |

Normalisasi adalah hasil dari penyetaraan karakterisasi yang dilakukan agar nilai dari masing kategori dampak dapat dibandingkan untuk keperluan pengambilan kesimpulan dalam interpretasi data.



Gambar 2. Output Normalization Proses PLTU

Berdasarkan **Gambar 2**, di atas, tiga dampak paling besar yang ditimbulkan pada proses PLTU berturut-turut yakni dampak *non-renewable energy* dan *global warming* terjadi pada *coal hard* (pengadaan bahan baku), *coal hard 1 (coal handling)*, *water (demam)* (WTP), dan produksi listrik. Serta *respiratory inorganics* ditimbulkan oleh *water (demam)* (WTP), dan produksi listrik.

Weighting dan *single score* merupakan tahap pembobotan penilaian dari LCIA yang dilakukan untuk mendapatkan perbandingan nilai dampak lingkungan yang setara.

Berdasarkan tabel diatas, dampak *non-renewable energy* merupakan dampak terbesar dibanding dengan dampak lainnya yaitu sebesar 7,16E+08 Pt. Selanjutnya dampak *global warming* 3,84E+06 Pt dan *respiratory inorganics* sebesar 2,86E+02 Pt.



Gambar 3. Output Single Score Proses PLTU

Proses yang menjadi kontributor dampak terbesar terhadap lingkungan berturut-turut adalah *coal hard* (pengadaan bahan baku), *coal hard 1 (coal handling)*, dan produksi listrik.

3.3 Faktor Penyebab Dampak Lingkungan

Non-renewable Energy adalah energi yang tidak dapat diperbaharui kembali, contohnya: batubara, minyak bumi, gas bumi, nuklir (Kananda & Nazir, 2013). Pada penelitian ini, dampak dari *non-renewable energy* berasal dari proses

Tabel 2. Weighting dan single score

| Impact category | Unit | Total | Coal, hard | Coal, hard 1 | Water (Demam) | Listrik | WWTP |
|-------------------------|------|----------|------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Total | Pt | 7,19E+08 | 3,59E+08 | 3,59E+08 | 36,131154 | 925278,84 | 1,3591822 |
| Carcinogens | Pt | 1,77E+00 | - | - | 0,39939597 | 1,3723479 | - |
| Non-carcinogens | Pt | 3,30E+01 | - | - | 1,5118767 | 30,887659 | 0,55280824 |
| Respiratory inorganics | Pt | 2,86E+02 | - | - | 9,6616279 | 276,395 | - |
| Ionizing radiation | Pt | 1,56E-02 | - | - | 0,007557432 | 0,008005739 | - |
| Ozone layer depletion | Pt | 6,99E-03 | - | - | 0,003390591 | 0,00360015 | - |
| Respiratory organics | Pt | 2,41E+00 | - | - | 0,005424144 | 2,4010266 | - |
| Aquatic ecotoxicity | Pt | 4,58E+00 | - | - | 1,3750328 | 2,3996364 | 0,80283209 |
| Terrestrial ecotoxicity | Pt | 2,40E+00 | - | - | 1,0153311 | 1,3837558 | - |
| Terrestrial acid/nutri | Pt | 6,87E+00 | - | - | 0,13667977 | 6,7318353 | - |
| Land occupation | Pt | 1,43E-01 | - | - | 0,069521641 | 0,073645665 | - |
| Aquatic acidification | Pt | 0,00E+00 | - | - | - | - | - |
| Aquatic eutrophication | Pt | 0,00E+00 | - | - | - | - | - |
| Global warming | Pt | 3,84E+06 | 1610888,4 | 1670824,7 | 10,688864 | 559847,79 | - |
| Non-renewable energy | Pt | 7,16E+08 | 3,58E+08 | 3,58E+08 | 11,203512 | 365109,34 | - |
| Mineral extraction | Pt | 1,09E-01 | - | - | 0,052940059 | 0,052328534 | 0,003541828 |

pengadaan bahan baku, *coal handling*, WTP, dan juga produksi listrik. Hal ini dikarenakan sumber energi utama di Indonesia menggunakan bahan bakar tidak terbarukan.

Pada penelitian ini, dampak dari *global warming* berasal dari proses pengadaan bahan baku, *coal handling*, WTP, dan juga produksi listrik. Peningkatan pemanasan global disebabkan oleh fakta bahwa sebagian besar produksi listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya batubara, yang secara esensial terbuat dari karbon. Oleh karena itu, ketika batubara tersebut dibakar, ia menghasilkan karbon dioksida (CO₂). Gas CO₂ ini merupakan penyumbang terbesar terhadap polusi udara serta berperan dalam pemanasan global. Semakin tinggi konsumsi listrik yang digunakan, maka akan meningkatkan jumlah gas rumah kaca seperti karbondioksida sehingga menyebabkan timbulnya efek rumah kaca.

Faktor utama penyebab munculnya kategori dampak *respiratory inorganics* pada analisis menggunakan *software Simapro* berasal dari pemakaian bahan kimia pada proses WTP dan juga produksi listrik. Paparan bahan kimia secara terus-menerus setiap harinya dalam jangka waktu yang lama dan masa kerja turut menjadi faktor penyebab munculnya penyakit pernapasan.

3.4 Rekomendasi Program Alternatif Perbaikkan

Rekomendasi program alternatif perbaikan bertujuan untuk mengurangi nilai dampak yang muncul setelah dilakukan analisis LCA. Hasil analisis LCA menunjukkan bahwa dampak terbesar berasal dari proses pengadaan batu bara, *coal handling*, dan produksi listrik.

a) *Co-firing* bahan bakar solar dengan biosolar

Substitusi minyak solar menggunakan metode *co-firing* menjadi alternatif perbaikan dalam menghemat energi maupun emisi yang dihasilkan. *Co-firing* yaitu proses pembakaran dua atau lebih bahan bakar dengan jenis yang tidak sama secara bersamaan dalam sebuah pembangkit listrik atau pabrik. Praktik ini dimaksudkan untuk mencampur bahan bakar konvensional, seperti batu bara atau minyak, dengan bahan bakar alternatif seperti biomassa atau opsi ramah lingkungan lainnya dengan tujuan untuk mengurangi emisi polusi serta ketergantungan pada sumber daya fosil.

Kandungan karbon yang rendah menjadikan biodiesel sebagai alternatif terbaik untuk mesin diesel (solar), (Mathew & Institutions, 2014). Salah satu biodiesel yang dapat mengurangi emisi karbondioksida sebesar 78% berdasarkan siklus hidup adalah biosolar minyak kedelai (Huang et al., 2012). *Co-firing* dengan kadar 20% biodiesel akan mengurangi emisi CO₂ sebesar 15,66% (Krishnaprabu, 2019). Penggunaan biosolar biasanya dicampur dengan minyak *diesel*, perbandingan 20% dan 30% biodiesel pada minyak *diesel* sering digunakan. Semakin besar rasio biodiesel maka semakin kecil emisi karbondioksida (CO₂). Oleh karenanya *co-firing* menjadi alternatif yang direkomendasikan.

b) *Co-firing* batubara lignit dengan biomassa

Kandungan energi biomassa dapat dikombinasikan dengan batubara sebagai salah satu cara penyelesaian dalam mempertahankan kondisi energi yang optimal dari hasil pembakaran. Penggunaan biomassa bersama batubara menghasilkan emisi lebih rendah dengan pengurangan emisi sebesar 76% (Xu et al., 2020). Kegiatan *co-firing* batubara

dengan biomassa dapat menjadi alternatif perbaikan dalam menghemat energi maupun emisi yang dihasilkan.

c) Penangkapan Gas CO₂ dan Penyimpanan

Penangkapan karbon dipandang sebagai salah satu teknologi yang secara signifikan dapat mengurangi tingkat CO₂ di atmosfer. *Carbon Capture Storage* (CCS) pada umumnya bertujuan untuk memisahkan zat karbondioksida kemudian ditampung dalam tempat penyimpanana. Teknik pemisahan pada metode pasca pembakaran dinilai lebih efektif menggunakan penyerapan CO₂ dengan *monoethanolamine* (MEA) yang disebut sebagai teknik yang sangat matang serta banyak digunakan (Yoro & Sekoai, 2016). Peningkatan efisiensi pembangkit listrik dengan penangkapan CO₂ menggunakan CCS pasca pembakaran dengan MEA dapat mereduksi emisi CO₂ sebesar 86-90% (Schreiber et al., 2009).

3.5 Penentuan Prioritas Alternatif Terbaik dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP digunakan untuk memutuskan solusi terbaik dalam mengatasi dampak yang timbul dan untuk dampak yang diangkat permasalahannya hanya beberapa dampak berdasarkan *hotspot* kajian. Analisis berdasarkan hasil dari aplikasi SimaPro. Alternatif terbaik kemudian ditentukan menggunakan metode AHP dengan aplikasi *Expert Choice*.



Gambar 4. Struktur Hierarki

Berdasarkan gambar struktur hierarki tersebut maka perlu dilakukan penetapan kriteria sebagai bahan pertimbangan yang diperlakukan untuk menentukan alternatif terbaik. Kriteria yang digunakan pada struktur hirarki untuk memberikan rekomendasi alternatif perbaikan terdiri dari 3 ketetapan kriteria yaitu: biaya investasi dan produksi, dampak lingkungan, serta kemudahan operasional.

Alternatif yang direkomendasikan terdiri dari 3 alternatif yaitu *co-firing* solar dengan biodiesel, *co-firing* batubara dengan biomassa, dan penangkapan gas CO₂ menggunakan *carbon capture storage* (CCS). Ketiga alternatif tersebut dianalisis lebih lanjut menggunakan struktur *hierarki* proses untuk mendapatkan nilai kepentingan berdasarkan masing-masing alternatif secara bertingkat, nilai kepentingan tertinggi akan menjadi acuan utama. Kriteria dan alternatif pada struktur *hierarki* akan dibandingkan secara berpasangan, masing-masing kriteria dan alternatif perlu dibandingkan sehingga dapat menghasilkan alternatif terbaik pada kegiatan PLTU.

Responden pada penelitian ini terdiri dari 4 orang yaitu asman, 2 *staff* lingkungan, dan *staff junior* analis lingkungan dari pihak PLTU Tanjung Awa-Awar. Setiap responden memberikan nilai perbandingan kriteria dan alternatif mitigasi yang sesuai dengan kuesioner.



Gambar 5. Struktur Hierarki

Berdasarkan **Gambar 5**, diketahui bahwa biaya investasi dan produksi memiliki nilai kepentingan sebesar 0,265, dampak lingkungan sebesar 0,613, dan kemudahan operasional sebesar 0,122, sehingga bobot akhir nilai kepentingan dari ketiga kriteria jika ditotalkan secara keseluruhan maka hasilnya adalah 1. Berdasarkan ketiga kriteria didapatkan nilai kepentingan terbesar adalah dampak lingkungan. Kriteria yang dinyatakan konsisten selanjutnya dibobotkan kembali dengan nilai kepentingan dari *element* pada masing-masing alternatif pada kegiatan PLTU untuk memperoleh alternatif terbaik.



Gambar 6. Pembobotan nilai pada masing-masing alternatif

Setelah melakukan pembobotan nilai pada masing-masing kriteria selanjutnya melakukan pembobotan nilai pada masing-masing alternatif. Berdasarkan **Gambar 6**, diketahui bahwa alternatif terbaik yang memiliki nilai terbesar adalah *carbon capture storage* sebesar 0,605, kemudian *co-firing* bahan bakar solar dengan biodiesel sebesar 0,259, serta *co-firing* bahan bakar solar dengan biomassa sebesar 0,136. Dengan demikian berdasarkan ketiga alternatif tersebut sejumlah responden memprioritaskan *carbon capture storage* sebagai alternatif terbaik.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Potensi dampak terhadap lingkungan yang disebabkan oleh proses PLTU Tanjung Awar-Awar, yang telah dianalisis menggunakan metode *Impact 2002+*, menghasilkan tiga dampak terbesar yang muncul yaitu perubahan iklim global, penggunaan energi non-terbarukan, dan *respiratory inorganics*. Sementara itu, kontributor utama yang berperan dalam menyebabkan dampak lingkungan ini adalah dari proses pengadaan bahan baku, *coal handling*, dan produksi listrik.
2. Beberapa alternatif kegiatan yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan diantaranya yaitu *co-firing* bahan bakar solar dengan biosolar, *co-firing* bahan bakar batubara dengan biomassa, dan *carbon capture storage*.

3. Prioritas penerapan alternatif kegiatan untuk mengurangi dampak lingkungan pada PLTU Tanjung Awar Awar yang terpilih dengan metode AHP dengan kriteria prioritas terpilih dari hasil pembobotan yaitu berdasarkan dampak lingkungan dengan nilai sebesar 0,613 yaitu *carbon capture storage* dengan bobot prioritas 0,605.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. PLN Nusantara *Power Up* PLTU Tanjung Awar-Awar atas segala bantuan yang diberikan baik berupa data serta bentuk dukungan dalam hal apapun.

DAFTAR PUSTAKA

- Huang, D., Zhou, H., & Lin, L. (2012). Biodiesel: An alternative to conventional fuel. *Energy Procedia*, 16(PART C), 1874–1885. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.287>
- Kananda, K., & Nazir, R. (2013). Konsep Pengaturan Aliran Daya Untuk PLTS Tersambung Ke Sistem Grid Pada Rumah Tinggal. *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, 2(2 SE-Electrical Power and Energy), 65–71. <https://doi.org/10.25077/jnte.v2n2.87.2013>
- Krishnaprabu, S. (2019). A Review on Biodiesel Production as Alternative Fuel. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 7(2), 258–266. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.7441>
- Mathew, B. B., & Institutions, D. S. (2014). *Biodiesel: A Review Monisha J , Harish A , Sushma R , Krishna Murthy T P * , Blessy B Mathew .*, 3(January), 902–912.
- Schreiber, A., Zapp, P., & Kuckshinrichs, W. (2009). Environmental assessment of German electricity generation from coal-fired power plants with amine-based carbon capture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(6), 547–559. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0102-8>
- Xu, Y., Yang, K., Zhou, J., & Zhao, G. (2020). Coal-Biomass Co-Firing Power Generation Technology: Current Status, Challenges and Policy Implications. *Sustainability*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093692>
- Yoro, K. O., & Sekoai, P. T. (2016). The Potential of CO2 Capture and Storage Technology in South Africa's Coal-Fired Thermal Power Plants. *Environments*, 3(3). <https://doi.org/10.3390/environments3030024>