

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan sumber energi dari bahan bakar fosil yang memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi dunia dalam pertumbuhan ekonomi dan industri (International Energy Agency, 2025). Meskipun terdapat percepatan transisi energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir, batubara masih menjadi salah satu komoditas energi utama yang dominan dalam struktur pasokan energi global. Data Energy Institute (EI) *Statistical Review of World Energy* tahun 2025 menunjukkan pemakaian energi dunia 20 tahun terakhir mengalami peningkatan sebesar 2% setiap tahun. Dari total konsumsi energi dunia tahun 2024 sebesar 592,22 Exajoule sebagian besar berasal dari minyak bumi, batubara, dan gas alam. Pemakaian batubara terbesar kedua setelah minyak bumi yaitu sebesar 165 Exajoules (EJ) dengan proporsi 27,9%, meskipun proporsinya sedikit menurun pada sebagian wilayah dibandingkan tahun sebelumnya.

Data dari International Energy Agency (IEA) memperkirakan bahwa permintaan batubara global akan mencapai rekor tertinggi sekitar 8,845 miliar ton pada 2025, menandakan bahwa batubara masih digunakan bahan bakar utama dalam sektor pembangkit listrik, industri berat, dan memenuhi kebutuhan energi primer lainnya. Pertumbuhan permintaan ini didorong terutama di negara-negara Asia, termasuk China, India, dan beberapa negara ASEAN. Karena karakteristik batubara yang relatif lebih murah dibandingkan sumber energi lain seperti gas alam atau minyak bumi, komoditas ini tetap menjadi pilihan utama di banyak negara berkembang yang menghadapi tekanan pertumbuhan kebutuhan permintaan energi sekaligus tantangan ketersediaan energi yang stabil. Selain itu, kebijakan negara dalam peningkatan produksi dan besarnya cadangan batubara di banyak negara, turut berkontribusi terhadap konsumsi batubara dalam struktur pemakaian energi global.

Meskipun batubara memberikan kontribusi besar terhadap pertumbuhan industri dan penyediaan energi, kegiatan produksi batubara juga menimbulkan

berbagai dampak lingkungan yang cukup serius dan memengaruhi banyak aspek lingkungan. Tahapan produksi seperti pembukaan lahan, pengupasan tanah penutup, penggunaan alat berat berbahan bakar diesel, konsumsi listrik dari sumber fosil, dan pengelolaan limbah operasional dapat menimbulkan dampak lingkungan, baik terhadap perubahan iklim maupun terhadap kualitas lingkungan dan ekosistem di wilayah sekitar tambang (Tughyan, 2020). Penilaian dampak lingkungan pada sektor pertambangan selama ini sering berfokus pada satu tahap proses, seperti pengukuran kualitas udara/air untuk kepatuhan terhadap baku mutu. Pendekatan tersebut penting untuk pemenuhan aspek regulasi, namun belum dapat menggambarkan dampak kumulatif dan pengambilan keputusan berisiko menyebabkan perpindahan dampak lingkungan (*burden shifting*) karena tidak diinterpretasikan secara sistemik (Hauschild et al., 2018). Oleh karena itu, metode *Life Cycle Assessment* (LCA) sebagaimana sudah distandarkan dalam SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017 dapat menjadi pendekatan yang relevan untuk mengevaluasi dampak lingkungan secara lebih komprehensif.

LCA memungkinkan penilaian dampak dari seluruh rangkaian proses produksi, mulai dari pembukaan lahan hingga batubara siap dipasarkan (*cradle-to-gate*), serta mengidentifikasi unit proses yang menjadi *hotspot* dan memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan (SNI ISO 14040, 2016). Dalam kajian *Life Cycle Assessment* (LCA) pada penambangan batubara terbuka, batasan sistem *cradle-to-gate* dinilai lebih sesuai dibandingkan *cradle-to-grave*. Hal ini karena batasan sistem *cradle-to-gate* sejalan dengan batas kendali operasional perusahaan tambang, sehingga data lebih mudah ditelusuri dan tingkat ketidakpastian hasil kajian lebih rendah. Selain itu, batasan ini menghasilkan kajian yang lebih fokus dan dapat ditindaklanjuti untuk perbaikan kinerja lingkungan internal, tanpa harus membuat asumsi spekulatif mengenai skenario di luar kendali tambang (Triatmojo et al., 2024).

Kategori dampak lingkungan yang paling relevan dan sering dianalisis menggunakan pendekatan LCA pada sistem produksi batubara, yaitu *global warming potential* (GWP), *acidification potential* (AP), dan *eutrophication potential* (EP) atau pengayaan nutrisi di perairan (Tao et al., 2024). Kategori

dampak *ozone depletion potential* (ODP) tidak dianalisis karena proses utama penambangan batubara terbuka, meliputi *land clearing*, *overburden removal*, *drilling and blasting*, *coal hauling*, *dewatering*, dan reklamasi lahan, tidak menggunakan maupun menghasilkan emisi bahan perusak ozon (BPO) seperti *Chlorofluorocarbon* (CFC), *Hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), *Halon*, *Carbon Tetrachloride*, dan *Methyl Bromide* yang berkontribusi besar terhadap penipisan lapisan ozon (World Meteorological Organization, 2022). Hal ini sesuai dengan prinsip *cut-off criteria* dalam International Organization for Standardization melalui ISO 14040 (2006), kategori dampak yang kontribusinya tidak signifikan terhadap total dampak lingkungan dapat dikecualikan dari analisis, dengan syarat dasar pertimbangannya didokumentasikan secara jelas dalam laporan penelitian.

Global warming potential (GWP) menggambarkan kontribusi suatu kegiatan produksi terhadap perubahan iklim melalui emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Dalam batasan sistem *cradle-to-gate*, yang mencakup seluruh tahapan produksi hingga batubara siap dipasarkan, penggunaan bahan bakar diesel pada kegiatan pemindahan material dengan alat berat umumnya menjadi kontributor terbesar terhadap nilai GWP pada sistem produksi batubara (Diharjo & Manik, 2023).

Acidification potential (AP) menunjukkan potensi pembentukan hujan asam akibat emisi sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO_x), dan senyawa asam lainnya yang dilepaskan ke atmosfer dan umumnya berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (Hauschild & Huijbregts, 2015). Emisi tersebut terutama dihasilkan dari penggunaan bahan bakar diesel pada alat berat dan kendaraan angkut, yang dapat menurunkan kualitas tanah dan perairan serta mengganggu keseimbangan ekosistem di sekitar tambang, sehingga AP menjadi indikator penting untuk menilai dampak atmosferik berskala regional (Tao et al., 2024).

Sementara itu, *eutrophication potential* (EP) menggambarkan potensi terjadinya peningkatan dan akumulasi nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor, pada badan air dan tanah yang dapat memicu pertumbuhan alga berlebih (*algal bloom*), menurunkan kadar oksigen terlarut, serta mengganggu ekosistem perairan (Hauschild & Huijbregts, 2015). Sumber EP dapat berasal dari limpasan air

tambang yang mengandung senyawa nitrogen, deposisi nitrogen dari emisi NO_x hasil pembakaran bahan bakar diesel pada alat berat, serta penggunaan bahan peledak berbasis amonium nitrat, dengan dampak yang bersifat lokal hingga regional dan sangat relevan pada area tambang yang berdekatan dengan badan air permukaan (Tao et al., 2024; Diharjo & Manik, 2023).

Hasil penelitian *Life Cycle Assessment* (LCA) pada sektor pertambangan batubara menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar diesel pada aktivitas pemindahan material dengan alat berat merupakan *hotspot* utama bagi dampak GWP dan AP. Sementara itu, kontribusi terhadap EP lebih banyak dipengaruhi oleh limpasan air tambang yang mengandung nitrogen, deposisi nitrogen dari emisi NO_x, serta penggunaan bahan peledak berbasis nitrogen. Meskipun demikian, sebagian besar studi LCA tersebut masih terbatas pada identifikasi profil dampak dan *hotspot*, serta belum banyak yang secara langsung mengevaluasi efektivitas program pengelolaan lingkungan dalam menurunkan dampak-dampak tersebut maupun menganalisis potensi perpindahan dampak lingkungan sebagai akibat dari program yang diterapkan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi komparatif kondisi sebelum dan sesudah implementasi program pengelolaan lingkungan pada PT Bhumi Rantau Energi yang berlokasi di Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan, serta menilai besarnya kontribusi program-program tersebut dalam menurunkan dampak lingkungan pada kategori *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP). Pendekatan yang digunakan tidak hanya berfokus pada perhitungan besaran dampak lingkungan, tetapi juga pada pengukuran efektivitas strategi pengelolaan lingkungan perusahaan, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi berbasis bukti ilmiah untuk meningkatkan kinerja keberlanjutan tambang batubara secara lebih terukur dan sistematis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, dapat ditentukan rumusan masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi dampak lingkungan dan isu penting (*hotspot*) pada proses produksi batubara di PT Bhumi Rantau Energi, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan, khususnya terhadap kategori *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP), menggunakan pendekatan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dan analisis kontribusi?
2. Bagaimana hasil analisis komparatif dampak lingkungan sebelum dan sesudah implementasi program pengelolaan lingkungan pada isu penting (*hotspot*) di kategori *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP) di PT Bhumi Rantau Energi, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan, dan apa rekomendasi perbaikan program yang dapat dirumuskan berdasarkan hasil tersebut?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis potensi dampak lingkungan dan mengidentifikasi isu penting (*hotspot*) pada proses produksi batubara di PT Bhumi Rantau Energi, pada kategori dampak *global warming potential* (GWP), *acidification potential* (AP), dan *eutrophication potential* (EP) menggunakan pendekatan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dan analisis kontribusi.
2. Melakukan analisis komparatif dampak lingkungan sebelum dan sesudah implementasi program pengelolaan lingkungan pada isu penting (*hotspot*) *global warming potential* (GWP), *acidification potential* (AP), dan *eutrophication potential* (EP) di PT PT Bhumi Rantau Energi dan merumuskan rekomendasi perbaikan program berdasarkan hasil *Analytical Hierarchy Process*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan di bidang ilmu lingkungan, khususnya terkait penerapan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dalam analisis dampak lingkungan pada industri pertambangan batubara di Indonesia. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang mengkaji dampak lingkungan dan evaluasi kinerja pengelolaan lingkungan berbasis pendekatan siklus hidup.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dua manfaat kepada:

- i. Penelitian ini dapat menjadi sarana untuk meningkatkan pemahaman dan pengalaman peneliti dalam melakukan analisis dampak lingkungan menggunakan metode LCA, sekaligus menambah data dan informasi empiris terkait kinerja lingkungan pada sektor pertambangan batubara di Indonesia.
- ii. Bagi perusahaan, khususnya PT Bhumi Rantau Energi yang berlokasi di Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi dampak lingkungan yang timbul dari kegiatan pertambangan batubara. Temuan penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan evaluasi serta dasar penyusunan rekomendasi perbaikan program pengelolaan lingkungan guna menurunkan dampak lingkungan dan meningkatkan kinerja keberlanjutan perusahaan.

1.5 Batasan Penelitian

Analisis dalam penelitian ini dibatasi pada cakupan sistem cradle-to-gate, yaitu proses produksi batubara dan utilitas yang dilakukan oleh PT Bhumi Rantau Energi yang berlokasi di Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Proses produksi meliputi proses hulu, yaitu *land clearing*, *topsoil* dan *overburden removal*; proses inti, yaitu *coal getting*, *coal hauling*, *coal crushing*, *stockpile*, dan *coal barging*; serta proses utilitas, yaitu kantor, *settling pond*, genset, reklamasi, dan *workshop*. Adapun kategori dampak lingkungan yang dianalisis dibatasi pada *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP).

1.6 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa referensi yang ditemukan terkait dengan analisis dampak lingkungan dengan menggunakan metode LCA. Untuk penggunaan metode LCA di industri pertambangan batubara masih terhitung sangat kurang. Berikut merupakan beberapa penelitian terkait yang dijadikan sebagai bahan referensi maupun pertimbangan pada penelitian ini tertampil pada Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu.

Sekolah Pascasarjana

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul, Nama, dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil
1	Kajian Dampak Lingkungan Produksi Batubara PT Berau Coal – Site Sambarata (SMO) dengan Metode <i>Life Cycle Assessment</i>. N. J. Darpawanto, M. A. Budihardjo, F. Muhammad, and D. Amalia Tahun 2022	Menganalisis dampak lingkungan produksi batubara PT Berau Coal – Site Sambarata menggunakan metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA), serta mengidentifikasi proses dengan kontribusi dampak lingkungan terbesar sebagai dasar rekomendasi perbaikan kinerja lingkungan.	Menggunakan Microsoft Excel dengan faktor karakterisasi CML-IA Baseline (midpoint) dan unit fungsi 1 ton batubara dengan Cradle to Gate. Kategori Dampak <i>global warming potential</i> (GWP), <i>Ozone Depletion potential</i> (ODP), <i>acidification potential</i> (AP), dan <i>eutrophication potential</i> (EP)	Proses dengan kontribusi tertinggi adalah Material Removal, dengan nilai: GWP: $2,91 \times 10^{-1}$ kgCO₂eq/ton; ODP: $6,60 \times 10^{-6}$ kgCFC-11eq/ton; AP: $1,19 \times 10^{-1}$ kgSO₂eq/ton; EP: $3,37 \times 10^{-2}$ kgPO₄eq/ton Hal ini disebabkan oleh konsumsi solar sebesar 38.539.302 liter yang menghasilkan emisi 102.807,44 ton CO₂eq, menjadikan proses ini sebagai <i>hotspot</i> utama dampak lingkungan. Dan program yang direkomendasikan Program pengurangan jarak radius perpindahan alat ditambah saat blasting dari yang sebelumnya 300 meter menjadi 200 meter, Program Maintenance Turbocharger Genset CPP Sambarata BC-GE-P-01, Program penggantian penggunaan Bahan Bakar Biosolar B20 menjadi B30, Program Mining Eye (Supervisory Automation Implementation)

Sekolah Pascasarjana

No	Judul, Nama, dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil
2	<i>Life Cycle Assessment a Coal Mining in East Kalimantan.</i> Deniela Flora Mariyane Wongso Diharjo, Yosef Barita Sar Manik Tahun 2023	Mengidentifikasi dan mengkuantifikasi dampak lingkungan penambangan batubara PT X (cradle-to-gate) per 1 ton batubara serta menentukan <i>hotspot</i> proses.	Menggunakan OpenLCA v2.0.2 dengan faktor karakterisasi ReCiPe 2016 midpoint (H) dan unit fungsi 1 ton batubara serta ruang lingkup Cradle to Gate. Kategori Dampak : <i>fine particulate matter formation, global warming, terrestrial acidification, ozone formation-human health and ozone formation-terrestrial ecosystems, and water consumption</i>	Hasil evaluasi dampak GWP 73,28 kg CO₂eq; PM 0,122 kg PM_{2.5} eq; acidification 0,4114 kg SO₂eq; Ozone formation 0,54 kg NO_x eq; ODP 1,65×10⁻⁵ kg CFC-11 eq; Land use 4,42×10⁻⁴ m²a; Water 11,437 m³. Proses overburden stripping/material removal menjadi kontributor terbesar dampak lingkungan untuk kategori <i>global warming potential</i> (GWP), <i>fine particulate matter formation</i>, dan <i>terrestrial acidification</i>
3	<i>Life Cycle Assessment (LCA) Produksi Batu Bara di PT. XYZ di Kalimantan Selatan Dengan Pendekatan Cradle-to-Gate Menggunakan Software OpenLCA</i> Muhammad Abrar Firdausy, Muhammad Aulia Urrahman, dan Muhammad Firmansyah Tahun 2022	Menghitung emisi GRK dan asidifikasi serta kontribusi <i>global warming potential</i> (GWP) dan <i>acidification potential</i> (AP) per 1 ton batubara (cradle-to-gate) untuk menentukan <i>hotspot</i> produksi.	Menggunakan OpenLCA dengan faktor karakterisasi CML-IA Baseline dan unit fungsi 1 ton batubara serta ruang lingkup Cradle to Gate. Kategori Dampak : <i>global warming potential</i> (GWP) dan <i>acidification potential</i> (AP)	Hasil evaluasi dampak per 1 ton GWP 24,11 kg CO₂ eq; <i>acidification potential</i> 0,036 kg SO₂ eq. Proses Overburden Removal menjadi <i>hotspot</i> terbesar karena menggunakan alat berat terbanyak dan jauhnya jarak disposal overburden.

No	Judul, Nama, dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil
4	<i>Life cycle assessment of coal mines of diverse scales over time in China</i> Ming Tao, Daoming Lu, Ying Shi, Kai Liu, Dongdong Yan, Muhammad Burhan Memon Tahun 2024	Menganalisis dampak lingkungan tambang batubara bawah tanah dengan skala produksi 0,45; 3; 8; dan 12 Mt/tahun berdasarkan periode konstruksi, produksi, dan penutupan untuk menentukan hubungan skala-dampak.	Menggunakan <i>Software SimaPro 9.0.0</i> dengan faktor karakterisasi ReCiPe midpoint dan ruang lingkup Cradle to Gate. Kategori Dampak : GWP; <i>stratospheric ozone depletion</i>; <i>ionizing radiation</i>; <i>Ozone Formation – Human Health</i>; <i>fine particulate matter formation</i>; <i>ozone formation – terrestrial ecosystems</i>; <i>terrestrial acidification</i>; <i>freshwater eutrophication</i> ; <i>Marine eutrophication</i> ; <i>terrestrial ecotoxicity</i> ; <i>freshwater ecotoxicity</i> ; <i>marine ecotoxicity</i> ; <i>human carcinogenic toxicity (HCT)</i>; <i>human non-carcinogenic toxicity</i> ; <i>land use</i> ; <i>mineral resource scarcity</i> ; <i>fossil resource scarcity</i>; <i>water consumption</i>	Hasil analisis menunjukkan pada periode konstruksi tambang dengan skala kecil (0,45 Mt/a) memiliki dampak lingkungan 3–6× lebih besar per unit produksi. Tambang besar meningkatkan proporsi dampak pada periode produksi. Dampak dominan: <i>freshwater & marine ecotoxicity</i>, <i>human toxicity akibat Cu, Zn, Cr, Ni dari gangue</i>. Reklamasi penutupan belum mampu mengompensasi total dampak siklus hidup.

Sekolah Pascasarjana

No	Judul, Nama, dan Tahun	Tujuan	Metode	Hasil
5	Penggunaan <i>Life Cycle Assessment</i> dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia Annisa Luthfia, Muhammad Sonny Abfertiawan, Siska Nuraprianisandi, Kris Pranoto, Pascal Randolph Samban, dan Apridawati Elistyandar Tahun 2020	Menggunakan LCA untuk menilai risiko dampak lingkungan tambang batubara dan mendukung pemilihan alternatif teknologi/bahan bakar berbasis emisi GRK dan energi.	Menggunakan <i>Software Microsoft Excel</i> dengan faktor karakterisasi IPCC 2006 & ESDM dan ruang lingkup Cradle to Gate. Kategori Dampak : <i>global warming potential</i> (GWP)	Hasil evaluasi dampak sumber Kategori Dampak <i>global warming potential</i> (GWP) terbesar berasal dari penggalan batubara karena pelepasan emisi CH₄ yang terkandung dalam lapisan dengan besaran dampak per 1 ton batubara sebesar 16,88 kg CO₂-eq. Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan diantaranya penggantian jenis bahan bakar yang lebih ramah lingkungan atau penggunaan teknologi alat berat yang lebih efisien.
6	Pemanfaatan Serbuk Gergaji sebagai Substitusi Bahan Bakar pada Proses Pembakaran-Kiln di Pabrik Semen dengan Pendekatan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> Ahmad Zaky Nugraha, Edi Iswanto Wiloso, Mohammad Yani Tahun 2018	Menganalisis perbandingan kebutuhan energi dan kategori dampak <i>global warming potential</i> (GWP) produksi semen antara 100% batubara dan substitusi 41,34% serbuk gergaji menggunakan LCA	Menggunakan <i>Software Microsoft Excel</i> dengan faktor karakterisasi IPCC 2006 dan ruang lingkup Cradle to Gate dengan unit fungsi 1 ton semen. Serta asumsi <i>climate neutral</i> penggunaan serbuk gergaji Kategori Dampak : <i>global warming potential</i> (GWP)	Hasil evaluasi dampak kategori <i>global warming potential</i> (GWP) dalam produksi semen dengan perbandingan batubara dan serbuk gergaji: Kasus 1 (100:0) sebesar 0,84 ton CO₂-eq/ton semen. Kasus 2 (58,66:41,34) sebesar 0,79 ton CO₂-eq/ton semen Dari hasil evaluasi dampak, pemakaian serbuk gergaji mampu menurunkan 14,65% dampak dan berpotensi dapat mereduksi dampak secara tahunan sebesar 71.601 ton CO₂-eq/tahun.

Berdasarkan enam penelitian terdahulu, seluruhnya menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* untuk mengevaluasi dampak lingkungan sistem produksi berbasis batubara dan energi. Sebanyak 3 penelitian menggunakan software SimaPro, 2 menggunakan Microsoft Excel, dan 1 menggunakan

OpenLCA. Metode LCIA yang dominan adalah CML-IA Baseline (3 Penelitian), diikuti ReCiPe 2016, EDIP 2003, dan ILCD 2011. Pendekatan sistem yang digunakan mayoritas adalah *cradle-to-gate* dengan fokus pada kategori dampak midpoint seperti *global warming potential*, *acidification potential*, dan *eutrophication potential*.

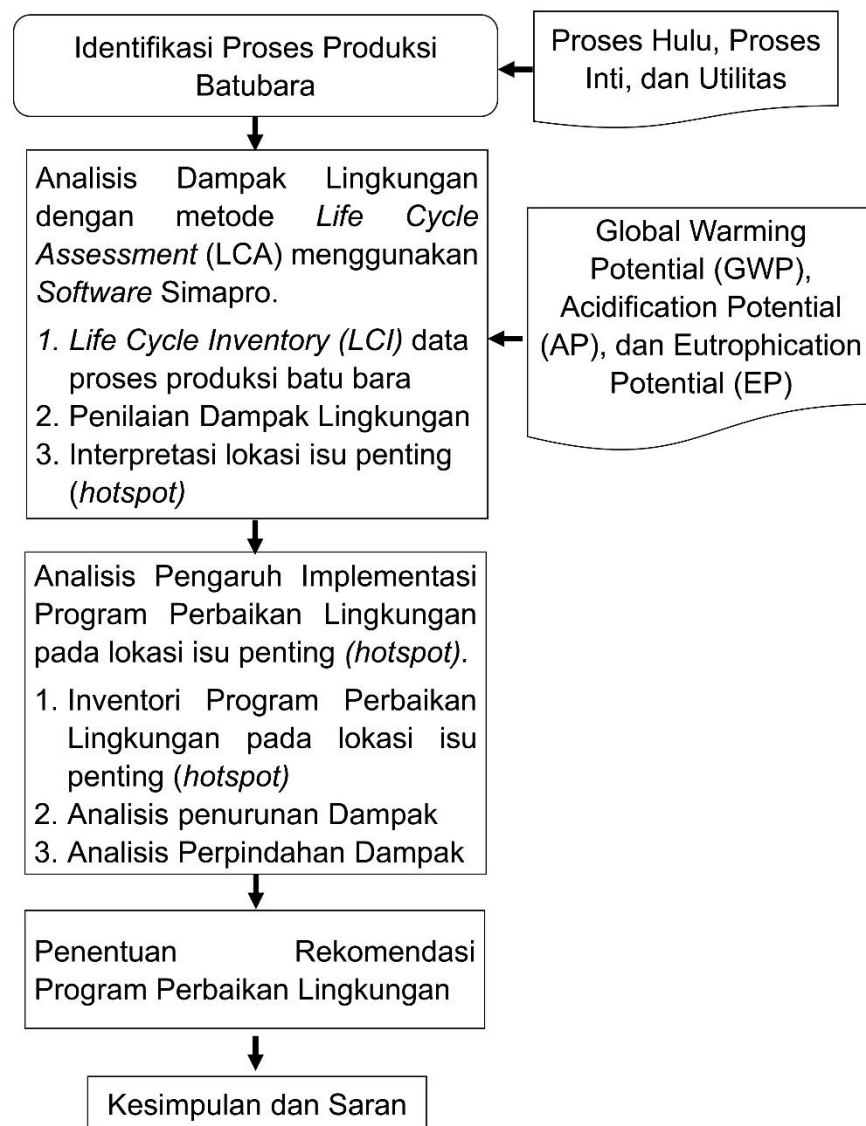
Penelitian yang akan dilakukan menggunakan software SimaPro dengan metode CML-IA Baseline dan berfokus pada tiga kategori dampak utama, yaitu *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP). Pemilihan software dan metode ini memiliki tingkat relevansi yang tinggi terhadap penelitian terdahulu, karena CML-IA Baseline merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam studi-studi tersebut dan secara konsisten diterapkan pada sektor pertambangan batubara. Selain itu, penggunaan SimaPro memungkinkan analisis yang lebih komprehensif, terstandarisasi, dan terintegrasi dengan database inventori internasional, sehingga meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil penelitian.

Berdasarkan studi literatur terhadap enam penelitian terdahulu, seluruh penelitian berfokus pada identifikasi dan kuantifikasi dampak lingkungan kegiatan pertambangan atau sistem berbasis batubara menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA), tanpa melakukan analisis kuantitatif terhadap efektivitas program pengelolaan lingkungan yang telah diterapkan. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya mengidentifikasi *hotspot* dampak, penelitian ini menganalisis pengaruh implementasi program pengelolaan lingkungan terhadap perubahan nilai dampak lingkungan, khususnya pada kategori *global warming potential* (GWP), *eutrophication potential* (EP), dan *acidification potential* (AP).

1.7 Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat disusun kerangka berpikir penelitian bahwa analisis dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) pada proses produksi batubara PT Bhumi Rantau Energi yang berlokasi di Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan berpotensi mengidentifikasi dampak lingkungan yang timbul pada setiap tahapan dalam rangkaian proses

produksi. Oleh karena itu, diperlukan identifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi dampak terbesar (*hotspot*) sebagai dasar untuk mengevaluasi efektivitas program pengelolaan lingkungan yang telah diterapkan. Hasil evaluasi tersebut selanjutnya digunakan untuk merumuskan alternatif strategi dan rekomendasi perbaikan pengelolaan lingkungan guna menurunkan besaran dampak secara sistematis dan terukur, khususnya pada kategori *global warming potential* (GWP), *acidification potential* (AP), dan *eutrophication potential* (EP). Kerangka berpikir penelitian ini disajikan pada Gambar 1. 1 Kerangka Pikir Penelitian.



Gambar 1. 1 Kerangka Pikir Penelitian