

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Life Cycle Assessment (LCA)

Berdasarkan SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017, LCA merupakan kumpulan dan evaluasi masukan, keluaran dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh daur hidupnya dengan pendekatan hulu ke hilir atau *cradle-to-grave* untuk menilai suatu sistem produk secara kuantitatif (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Fungsi dari LCA adalah untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh suatu kegiatan dengan mengetahui input yang digunakan, baik energi maupun sumber daya alam. LCA memungkinkan untuk memperkirakan dampak lingkungan kumulatif dari semua tahap siklus hidup produk untuk mengetahui tahap mana yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan. Setelah mengetahui isu penting dari siklus hidup produk, dapat direkomendasikan alternatif perbaikan yang dapat dilakukan perusahaan untuk mengurangi dampak lingkungan. LCA dapat diterapkan mulai dari perancangan produk, pengembangan proses produksi yang lebih baik, inovasi produk dan proses, meningkatkan sistem manajemen lingkungan, pemilihan produk atau proses serta pemilihan pemasok, mengomunikasikan informasi lingkungan untuk produk yang dihasilkan oleh perusahaan, penetapan strategi perusahaan, sampai pengambilan keputusan untuk kebijakan dalam pemerintahan.

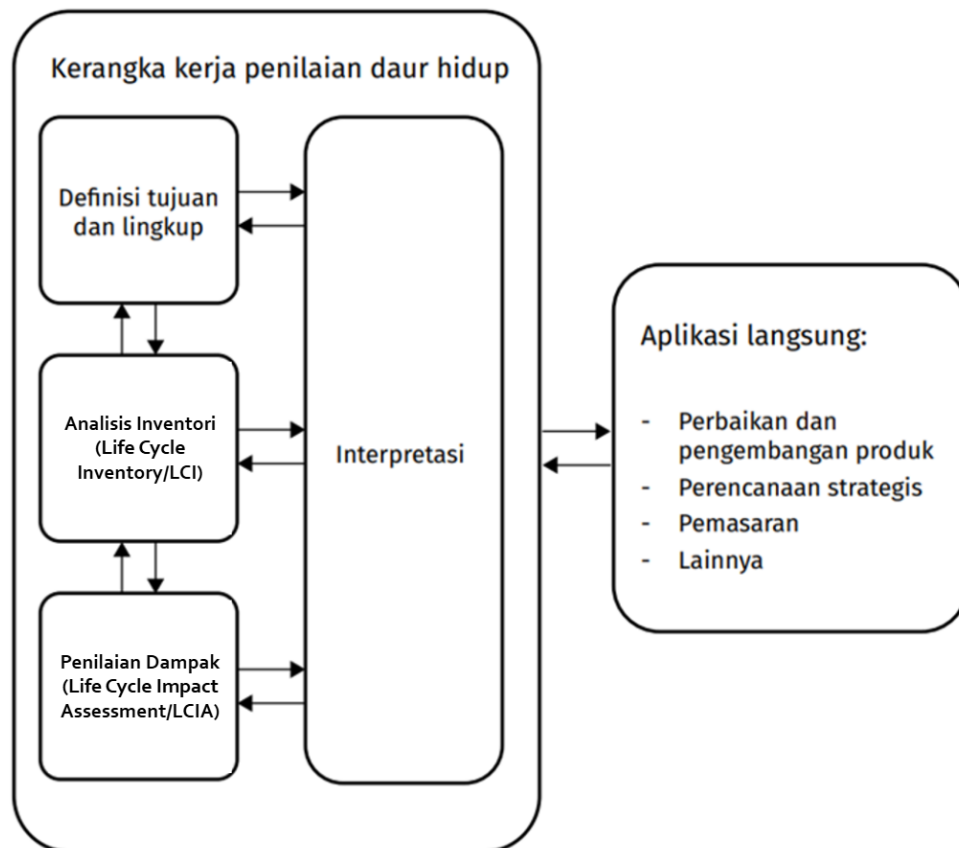
LCA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk, proses, atau layanan sepanjang seluruh siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi bahan baku, produksi, distribusi, penggunaan, hingga pembuangan akhir (Guinee *et al.*, 2011). Berdasarkan ISO 14014:2016, LCA dapat membantu dalam:

1. Mengidentifikasi peluang untuk memperbaiki kinerja lingkungan dari produk di berbagai titik dalam daur hidupnya
2. Menginformasikan kepada pengambil keputusan di industri, organisasi pemerintah atau non-pemerintah (misal untuk tujuan perencanaan strategis, penentuan prioritas, produk atau desain proses atau desain ulang)
3. Pemilihan indikator yang relevan dari kinerja lingkungan, termasuk teknik pengukuran
4. Pemasaran (misal menerapkan skema ecolabel, membuat klaim lingkungan, atau menghasilkan deklarasi produk lingkungan)

Di Indonesia sendiri, penerapan LCA masih dalam tahap pengembangan dan jumlah publikasi ilmiah terkait LCA masih sedikit dibandingkan dengan negara lain (Siregar *et al.*, 2020). LCA mulai diintegrasikan dalam kebijakan lingkungan nasional, terutama sejak dimasukkannya LCA sebagai salah satu kriteria dalam program PROPER (Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan) oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Salah satu hambatan terbesar dalam pelaksanaan LCA di Indonesia adalah ketersediaan database Life Cycle Inventory (LCI) yang relevan secara lokal. Untuk mengatasi hal ini, Indonesia mengembangkan IDN-LCI (*Indonesian Life Cycle Inventory*), sebuah kerangka konseptual database nasional yang melibatkan kolaborasi antara akademisi, industri, pemerintah, dan masyarakat.

2.1.1 Tahapan LCA

Terdapat 4 tahapan utama dalam analisis LCA, yaitu definisi tujuan dan lingkup, analisis inventori, penilaian dampak, dan interpretasi. Hubungan antara ke-4 tahap dijelaskan pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Kerangka Kerja Penilaian Daur Hidup (LCA)

Sumber: SNI ISO 14040:2016

2.1.1.1 Definisi Tujuan dan Lingkup

Inti dari kajian LCA adalah pernyataan tujuan yang jelas dan ringkas. Penentuan tujuan dan lingkup penting dilakukan agar penilaian dampak lingkungan dari produk/jasa dapat konsisten. Tujuan dari LCA adalah menyatakan maksud penerapan, alasan pelaksanaan kajian, dan pihak yang dituju. Setelah tujuan ditentukan, maka lingkup dari LCA dapat didefinisikan.

Lingkup LCA digunakan untuk menunjukkan bahwa tujuan dapat dicapai dalam batasan yang ditetapkan. Lingkup sebaiknya didefinisikan secara memadai untuk memastikan keluasan, kedalaman dan kerincian kajian sesuai tujuan yang ditetapkan. Berdasarkan SNI ISO 14040:2016, lingkup meliputi:

1. Sistem produk, fungsi sistem produk dan fungsi produk

Sistem produk merupakan kumpulan dari beberapa unit proses yang terdiri dari aliran dasar dan aliran produk, yang melaksanakan satu atau beberapa fungsi, dan yang memodelkan daur hidup produk.

2. Unit fungsi

Unit fungsi adalah kuantifikasi fungsi yang diidentifikasi (karakteristik kinerja) dari produk. Tujuan utama unit fungsi adalah sebagai acuan yang menghubungkan masukan dan keluaran. Acuan ini diperlukan untuk memastikan bahwa hasil LCA dapat dibandingkan. Perbandingan hasil LCA menjadi sangat penting ketika kajian dilakukan terhadap beberapa sistem yang berbeda, untuk memastikan bahwa perbandingan tersebut dilakukan dengan basis yang setara.

3. Batas sistem kajian

LCA dilakukan dengan mendefinisikan sistem produk sebagai model yang menggambarkan unsur utama dari sistem fisik. Batas sistem menetapkan unit proses yang akan dimasukkan ke dalam sistem.

4. Prosedur alokasi

Pembagian aliran input atau output dari suatu proses atau sistem produk di antara sistem produk yang dikaji dan satu atau lebih sistem produk lainnya.

5. Kategori dampak yang dipilih

Kategori dampak merupakan pengelompokan yang mewakili isu lingkungan yang menjadi perhatian dan bisa dihubungkan dengan hasil analisis inventori daur hidup.

6. Kriteria *cut-off*

Penetapan jumlah aliran bahan atau energi atau tingkat kepentingan lingkungan yang terkait dengan suatu unit proses atau sistem produk yang dikeluarkan dari lingkup kajian.

7. Persyaratan kualitas data

Persyaratan kualitas data menentukan secara umum karakteristik data yang dibutuhkan untuk kajian. Deskripsi kualitas data penting untuk

memahami keandalan hasil kajian dan menafsirkan hasil kajian secara baik.

8. Asumsi

Asumsi yang digunakan sebagai pendekatan perhitungan data

2.1.1.2 Analisis Inventori Daur Hidup (*Life Cycle Inventory/LCI*)

Tahap ini berfokus pada pengumpulan data kuantitatif yang dapat berupa data primer maupun sekunder terkait seluruh input (bahan baku, energi) dan output (emisi, limbah) dari setiap tahapan siklus hidup produk, proses, atau layanan. Berdasarkan SNI ISO 14040:2016, data input dan output disesuaikan dengan lingkup kajian untuk mencapai tujuan dari kajian yang sudah ditetapkan sebelumnya.

2.1.1.3 Penilaian Dampak (*Life Cycle Impact Assessment/LCIA*)

Data inventori yang didapatkan selanjutnya dievaluasi untuk dinilai dampak lingkungannya. Secara umum, proses ini menghubungkan data inventori dengan kategori dampak lingkungan dan metode yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengerti bagaimana dampak tersebut terhadap lingkungan. Pada tahap ini dilakukan karakterisasi yang merupakan proses kuantifikasi kontribusi setiap data inventori terhadap kategori dampak. Karakterisasi dilakukan dengan mengalikan data inventori dengan faktor karakterisasi. Faktor karakterisasi merupakan angka untuk mengonversi hasil inventori menjadi unit umum sesuai dengan kategori dampak. Rumus perhitungan nilai kategori dampak dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{Nilai Karakterisasi} = \text{data inventori (per unit fungsi)} \times \text{faktor karakterisasi}$$

II-1

Keterangan:

- Nilai karakterisasi : nilai hasil karakterisasi pada setiap kategori dampak yang dikaji
- Data inventori : Jumlah yang dikonsumsi (*input*) setiap proses atau jumlah keluaran (*output*) yang didasarkan atas unit fungsi (contoh: kg/kWh)

2.1.1.4 Interpretasi

Interpretasi merupakan tahap penentuan isu penting (*hotspot*) dari setiap kategori dampak, penarikan kesimpulan dan memberikan rekomendasi alternatif reduksi dampak untuk perbaikan lingkungan. Dari hasil interpretasi, didapatkan hasil kajian LCA yang dapat dengan mudah dipahami, lengkap, dan konsisten. Isu penting (*hotspot*) adalah proses yang paling berkontribusi dalam sistem produk terhadap potensi dampak yang dihasilkan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Dengan diketahuinya *hotspot* pada suatu sistem, maka pengambilan keputusan untuk perbaikan lingkungan dapat terfokus pada area yang paling krusial dalam siklus hidup suatu produk. Solusi perbaikan lingkungan dapat diarahkan secara lebih strategis sehingga bisa meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya. Selain melakukan perbaikan lingkungan, mengetahui *hotspot* juga dapat dapat mengoptimalkan proses produksi dan operasionalnya.

Hotspot yang dihasilkan dari hasil analisis sangat bergantung pada tujuan dan ruang lingkup kajian yang sudah ditetapkan di awal. Ruang lingkup dan kategori dampak yang berbeda akan menghasilkan *hotspot* yang berbeda, maka dari itu penentuan ruang lingkup dan kategori dampak yang dikaji menjadi hal pertama dan penting untuk dipertimbangkan di awal kajian.

Setelah mendapatkan *hotspot*, selanjutnya dilakukan uji sensitivitas untuk mengukur seberapa sensitif perubahan asumsi, parameter, atau data terhadap hasil LCA (Yuniarto & Amalia, 2022). Uji sensitivitas umumnya dilakukan pada *hotspot*. Jika nilai perubahan pada uji sensitivitas tidak melebihi $\pm 20\%$ parameter tersebut dapat dianggap tidak signifikan terhadap hasil potensi dampak yang dihasilkan dan data yang digunakan sudah cukup representatif (Zhou *et al.*, 2022). Nilai perubahan ini menggambarkan bahwa meskipun nilai parameter tersebut berfluktuasi atau berubah dalam rentang yang dipertimbangkan, perubahan yang dihasilkannya pada dampak lingkungan secara keseluruhan relatif kecil.

2.1.2 Metode CML-IA untuk Pada *Life Cycle Assessment*

CML-IA (*Centrum voor Milieukunde Leiden - Impact Assessment*) merupakan metode penilaian dampak yang dikembangkan oleh Institute of Environmental Science, Leiden University. Metode ini adalah metode pertama yang dikembangkan untuk menilai dampak dan menjadi dasar untuk mengembangkan metode lain. CML-IA menggunakan pendekatan *midpoint* yang berorientasi masalah (*problem-oriented*), mengukur dampak lingkungan pada suatu titik dalam rantai sebab-akibat sebelum mencapai kerusakan akhir atau *endpoint* (Database & Support team at PRé Sustainability, 2024). Pengembangan metode CML-IA mengikuti standar internasional untuk LCA, yaitu ISO 14040 dan ISO 14044.

Kelebihan dari CML-IA adalah sudah banyak digunakan secara luas serta sederhana dan mudah diinterpretasikan. Pendekatan *midpoint* yang mendasari pengembangan CML-IA dapat mengurangi tingkat ketidakpastian yang sering kali lebih tinggi dan melekat dalam pemodelan *endpoint* karena semakin panjang rantai pemodelan, semakin besar potensi akumulasi ketidakpastian. Keterbatasan metode ini adalah beberapa model *baseline* CML-IA mungkin tidak mengalami pembaruan untuk beberapa kategori dampak sehingga berpotensi tidak selalu memberikan hasil dampak yang terbaru secara menyeluruh.

2.1.3 Kategori Dampak Lingkungan

2.1.3.1 Potensi Pemanasan Global (*Global Warming Potential/GWP*)

Potensi pemanasan global (*global warming potential/GWP*) merupakan peningkatan jumlah CO₂ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer bumi yang menyebabkan peningkatan penyerapan radiasi yang dipancarkan bumi sehingga menyebabkan pemanasan global (Klopfer & Grahl, 2014). Kategori ini berfokus pada konversi emisi berbagai gas rumah kaca menjadi setara karbon dioksida (CO₂e). Potensi dampak pemanasan global di LCA biasanya adalah emisi gas rumah kaca selama 100 tahun dan disetarakan dengan konsentrasi CO₂ (United States Environmental Protection Agency, 2025).

Untuk menghitung nilai GWP, sesuai dengan metode CML-IA, faktor karakterisasi untuk GWP didasarkan pada laporan dan metrik yang dikembangkan

oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Nilai potensi GWP nantinya digunakan untuk mengetahui potensi pemanasan global dari gas rumah kaca.

2.1.3.2 Potensi Penipisan Ozon (*Ozone Depletion Potential/ODP*)

Potensi Penipisan Ozon atau *Ozone Depletion Potential* (ODP) menguantifikasi kontribusi emisi zat perusak ozon terhadap penipisan lapisan ozon stratosfer yang disebabkan oleh gas *chlorofluoro-carbons* (CFCs), *hydro-chloro-fluorocarbons* (HFCFs), *hydro-fluorocarbons* (HFCs), dan *bromofluorocarbons* (BFCs) (Aggarwal, et al., 2013). ODP didefinisikan sebagai rasio kerusakan ozon yang disebabkan oleh 1 kg emisi suatu zat relatif terhadap kerusakan dari 1 kg CFC-11 (*trichlorofluorometana*) dalam rentang waktu tertentu, biasanya 100 tahun.

Untuk menghitung nilai GWP, sesuai dengan metode CML-IA, faktor karakterisasi untuk ODP didasarkan pada data dan model yang berasal dari laporan ilmiah yang dikeluarkan oleh *World Meteorological Organization* (WMO), khususnya dalam kerangka *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. Laporan penilaian WMO diperbarui secara berkala sehingga kemutakhiran nilai faktor karakterisasi ODP dalam CML-IA juga bergantung pada adopsi data dari laporan WMO terbaru.

2.1.3.3 Potensi Hujan Asam (*Acidification Potential/AP*)

Hujan asam merupakan bentuk dampak lingkungan yang dikategorikan sebagai potensi pengasaman (*acidification potential*) dalam *Life Cycle Assessment* (LCA). Kategori ini mengukur kontribusi emisi zat pengasam seperti sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan amonia (NH₃) terhadap penurunan pH tanah, air, dan ekosistem melalui mekanisme deposisi asam yang menyebabkan perubahan keasaman tanah dan air sehingga menyebabkan serangkaian dampak seperti kerusakan kulit, kematian ikan, remobilisasi logam berat, dan sebagainya (Klopfer & Grahl, 2014). Hujan asam terbentuk ketika emisi SO₂, NO_x, dan NH₃

bereaksi dengan uap air di atmosfer membentuk asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), dan amonium (NH_4^+) dengan reaksi sebagai berikut:

- $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{NO}_x + \text{OH}^- \rightarrow \text{HNO}_3$
- $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$

Untuk menghitung nilai AP, sesuai dengan metode CML-IA, faktor karakterisasi untuk AP didasarkan pada model RAINS-LCA (*Regional Air pollution Information and Simulation model* - diadaptasi untuk LCA). Model RAINS-LCA memungkinkan perhitungan potensi asidifikasi yang spesifik secara spasial karena asidifikasi bergantung pada lokasi emisi dan karakteristik lingkungan penerima. Model RAINS-LCA menghasilkan faktor karakterisasi yang lebih relevan secara regional dibandingkan dengan faktor global rata-rata yang disederhanakan, tetapi faktor tersebut menjadi kurang relevan secara global untuk wilayah di luar cakupan model asli tanpa penyesuaian lebih lanjut. Satuan nilai potensi asidifikasi adalah kg SO_2 -ekuivalen dan potensi suatu zat untuk menyebabkan asidifikasi diukur berdasarkan kapasitasnya untuk membentuk ion hidrogen (H^+).

2.1.3.4 Potensi Eutrofikasi (Eutrofication Potential/EP)

Eutrofikasi (juga dikenal sebagai nutrifikasi) mencakup semua dampak akibat kadar makronutrien yang berlebihan di lingkungan yang disebabkan oleh emisi nutrisi ke udara, air, dan tanah dan dinyatakan dalam kg ekuivalen PO_4 per kg emisi (Database & Support team at PRé Sustainability, 2024). Proses ini menyebabkan pertumbuhan alga dan tanaman air yang tidak terkendali, penipisan oksigen terlarut, serta kerusakan biodiversitas.

Sama seperti AP, untuk menghitung nilai EP, sesuai dengan metode CML-IA, faktor karakterisasi untuk EP didasarkan pada model RAINS-LCA (*Regional Air pollution Information and Simulation model* - diadaptasi untuk LCA). Zat referensi yang umum digunakan dalam CML untuk eutrofikasi adalah fosfat (PO_4^{3-}), dengan satuan kg PO_4 -ekuivalen.

2.1.4 *Software SimaPro*

SimaPro merupakan salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh PRé Sustainability sesuai standar ISO 14040 dan ISO 14044 (Seckar *et al.*, 2024). Aplikasi ini menyediakan sejumlah metode penilaian dampak yang dapat digunakan untuk menghitung hasil penilaian dampak, termasuk CML-IA yang akan digunakan untuk penelitian ini. *Software* ini memudahkan pengguna dalam pengumpulan, pengolahan, dan analisis data inventaris dengan berbagai macam metode dan basis data. Hasil analisis LCA di SimaPro dapat divisualisasikan dengan berbagai model, seperti grafik batang, diagram jaringan (*network view*), dan diagram Sankey. Visualisasi ini dapat membantu dalam memahami hasil LCA secara menyeluruh.

Mekanisme perhitungan dampak pada SimaPro adalah dengan sistematis menghitung total semua *input* sumber daya dan semua *output* emisi yang dilepaskan ke lingkungan yang terkait dengan produksi satu unit fungsional dari produk. Selanjutnya, SimaPro akan melakukan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dengan metode yang sudah dipilih sebelumnya menjadi sejumlah indikator dampak lingkungan yang lebih mudah dipahami. Proses LCIA pada SimaPro umumnya mengikuti langkah-langkah yang ditetapkan dalam standar ISO 14044 sebagai berikut:

1. Klasifikasi

Aliran dasar pada 1 atau lebih kategori dampak lingkungan yang relevan, contohnya kategori dampak pemanasan global/GWP

2. Karakterisasi

Aliran dasar yang telah diklasifikasikan kemudian dikalikan dengan faktor karakterisasi untuk setiap kategori dampak.

SimaPro memiliki keunggulan dapat mengintegrasikan berbagai database lingkungan internasional yang sangat luas, sehingga hasil LCA menjadi lebih akurat. Analisis dampak dari setiap tahapan produksi dapat dilakukan secara terpisah, sehingga dapat mengidentifikasi *hotspot* lingkungan dan menentukan peluang perbaikan lingkungan. Selain itu, proses kalkulasi pada SimaPro dapat

dilakukan secara transparan dan memungkinkan pengguna untuk menelusuri kembali (*trace back*) asal-usul setiap angka dalam total inventaris.

2.2 Pemilihan Alternatif Solusi

Setelah didapatkan *hotspot* selanjutnya dilakukan pemilihan alternatif solusi untuk mereduksi dampak lingkungan yang ditimbulkan. Pemilihan alternatif solusi akan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Software Expert Choice*.

2.2.1 *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

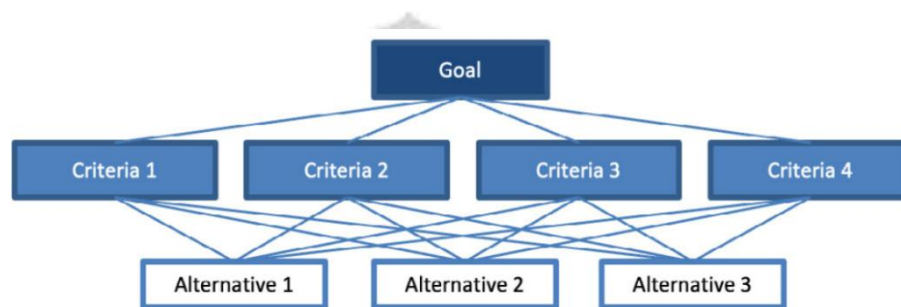
Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah metode yang digunakan untuk mengambil keputusan yang mempertimbangkan faktor persepsi, preferensi, pengalaman, dan intuisi. AHP cocok untuk permasalahan kompleks dan memerlukan keputusan dengan banyak kriteria dan alternatif (*Multi-Criteria Decision Analysis/MCDA*). Dasar metode AHP adalah dengan menyusun tingkatan hierarki dan pembobotan pada kriteria yang ditetapkan untuk memilih solusi terbaik dan mengevaluasi apakah alternatif yang diberikan sudah mematuhi/sesuai dengan kriteria yang ditentukan (Sirin *et al.*, 2024). AHP tidak bertujuan untuk menentukan keputusan yang benar secara absolut, tetapi AHP menjadi alat bantu untuk menemukan solusi atau alternatif yang paling sesuai dengan tujuan spesifik dan pemahaman mendalam terhadap masalah yang dihadapi, dalam hal ini adalah *hotspot*.

Terdapat beberapa prinsip dasar dalam menentukan alternatif solusi berdasarkan metode AHP. Nurhidayah (2020) menyatakan prinsip yang harus dipahami adalah sebagai berikut:

1. *Dekomposisi* (Membuat Hierarki)

Dekomposisi merupakan pemecahan suatu masalah menjadi elemen pendukung yang lebih kecil dan mudah dipahami. Elemen ini kemudian diatur secara sistematis dalam sebuah struktur hierarkis. Struktur hierarki ini biasanya terdiri dari beberapa tingkatan. Tingkatan teratas adalah tujuan utama (*goal*), yang merepresentasikan pernyataan keseluruhan dari apa yang ingin dicapai

melalui proses keputusan tersebut. Di bawah tujuan, terdapat tingkatan kriteria evaluasi (*criteria*), yaitu faktor-faktor kunci yang dianggap relevan dan penting untuk mencapai tujuan. Kriteria ini dapat bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Tingkatan terbawah dalam hirarki adalah alternatif pilihan (*alternatives*), yang merupakan berbagai opsi atau solusi yang tersedia dan dipertimbangkan untuk dipilih guna mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Konsep dekomposisi dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Pendekatan *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Sumber: Sirin, Bitsch, & Leipzig, 2024

2. *Comparative Judgement* (Penilaian Kriteria dan Alternatif)

Elemen-elemen pada tingkatan hierarki yang sama setelah dilakukan dekomposisi selanjutnya akan dilakukan penilaian perbandingan berpasangan. Perbandingan ini dilakukan untuk menilai kontribusi relatif atau tingkat kepentingan masing-masing elemen terhadap elemen yang berada satu tingkat di atasnya dalam hirarki. Penilaian dalam perbandingan berpasangan ini dilakukan dengan menggunakan skala numerik yang telah ditentukan untuk merepresentasikan intensitas preferensi atau kepentingan relatif antar dua elemen yang dibandingkan. Perbandingan berpasangan menggunakan skala angka 1-9 dengan penjelasan seperti pada **Error! Reference source not found.** berikut.

Tabel 2. 1 Nilai Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
4	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Satu elemen sangat lebih penting daripada elemen yang lainnya
9	Satu elemen mutlak lebih penting daripada elemen yang lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan

Sumber: Nurhidayah, 2020

3. *Synthesis of Priority* (Menentukan Prioritas)

Prioritas ditentukan berdasarkan pandangan ahli/pakar dan pihak yang berkepentingan dalam pengambilan keputusan. Penentuan prioritas ini dapat dilakukan dengan wawancara atau dengan kuesioner.

4. *Pengujian Konsistensi*

Tingkat konsistensi dari hasil yang didapatkan dari analisis AHP dilakukan pada penilaian perbandingan berpasangan oleh para ahli. Inkonsistensi dapat muncul karena sifat subjektif dari penilaian itu sendiri, kurangnya informasi, atau *human error* dalam proses perbandingan.

2.2.2 *Purposive Sampling*

Purposive sampling merupakan metode pengambilan sampel non-random di mana peneliti sudah menentukan partisipan berdasarkan karakteristik atau pengetahuan spesifik yang relevan dengan tujuan penelitian (Palinkas *et al.*, 2015). *Purposive sampling* umum digunakan dalam analisis AHP. Tidak ada ketentuan baku mengenai jumlah responden pada *purposive sampling* karena jumlah responden yang diteliti tidak begitu berpengaruh. Dalam analisis AHP, kualitas lebih penting dari kuantitas sehingga responden dipilih harus memiliki pemahaman yang mendalam dan keahlian yang relevan dengan domain masalah. Kelebihan *purposive sampling* adalah lebih mudah dilakukan dan sampel yang dipilih sesuai dengan tujuan penelitian sehingga lebih tepat sasaran (Lenaini, 2021). Sedangkan

kekurangannya adalah tidak ada jaminan jumlah sampel yang dipilih representatif karena tidak adanya aturan baku mengenai jumlah sampel.

Pada *purposive sampling*, wawancara dan kuesioner dapat dilakukan untuk mendapatkan alternatif solusi. Wawancara (*in-depth-interview*) dilakukan ketika membutuhkan pendalaman dan narasi mengenai suatu topik sehingga cocok untuk mengetahui alternatif solusi apa saja yang dapat dilakukan sesuai dengan *hotspot* yang didapatkan. Sedangkan kuesioner dilakukan ketika membutuhkan data terstruktur dan kuantitatif sehingga cocok untuk penilaian berpasangan dalam AHP.

2.2.3 *Expert Choice*

Expert Choice merupakan aplikasi yang digunakan untuk menyederhanakan implementasi dari metode AHP. *Expert Choice* dapat membantu dalam mengambil keputusan terbaik dengan memberikan gambaran yang sangat jelas untuk keputusan tersebut (Yunus *et al.*, 2013). Hasil keputusan yang didapatkan akan digambarkan dengan grafik/bar untuk mempermudah pemahaman. Tahapan menggunakan *Expert Choice* adalah sebagai berikut:

1. Menyusun hierarki dari masalah dan solusi yang telah ditentukan sebelumnya
2. Memasukkan data kuesioner berupa kriteria dan alternatif
3. Menggabungkan data kuesioner dengan *tools combiner*
4. Memeriksa konsistensi hierarki
5. Melakukan pembobotan dan skala prioritas
6. Mendapatkan keputusan yang dianjurkan