

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Penelitian terkait dampak bangunan gedung terhadap lingkungan telah dilakukan di banyak negara dengan pendekatan penelitian yang beragam. Kebutuhan akan penelitian terkait dengan topik ini, terutama di sektor konstruksi dan bangunan, didukung dengan adanya hasil penelitian yang menyatakan bahwa sektor bangunan dan konstruksi menyumbang sekitar 38% dari emisi karbon terkait energi global (Marsh et al., 2023). Berdasarkan laporan lingkungan yang diterbitkan oleh PBB, sektor bangunan bertanggung jawab atas lebih dari 40% konsumsi energi global, dengan persentase konsumsi energi terbesar terjadi pada fase pengoperasian bangunan. Lebih lanjut, dalam 20 tahun ke depan, jika kebijakan yang mengatur bangunan baru dan bangunan eksisting tidak diubah, emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari sektor bangunan diperkirakan akan meningkat dua kali lipat (Rezaei et al., 2019).

Kesadaran masyarakat akan isu lingkungan, terutama dalam sektor industri, termasuk konstruksi, mulai meningkat pada awal tahun 1990. Perubahan yang signifikan perlu diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh sektor konstruksi dan bangunan. Adanya kebijakan pemerintah yang mengatur mengenai penilaian dampak lingkungan, dan meningkatnya permintaan akan produk dan jasa yang ramah lingkungan, mendorong diciptakannya sebuah alat untuk mengukur kinerja bangunan terhadap lingkungan. Di beberapa negara,

penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan telah diwajibkan sebagai bagian dari pengajuan perencanaan untuk proyek-proyek konstruksi (Marsh et al., 2023).

Metode penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan telah mengalami perkembangan yang pesat sejak diperkenalkannya BREEAM pada tahun 1990, dan dalam kurun waktu tersebut jumlah metode penilaiannya juga mengalami peningkatan yang pesat, baik metode yang telah diterapkan maupun metode yang masih dalam proses pengembangan. Cole (2005) dalam penelitiannya, mengkaji perkembangan metode penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan, potensi sistem penilaian tersebut untuk berkembang, cara kerja metode penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan, dan keselarasan metode penilaian tersebut dengan instrumen lainnya. Penelitian ini menemukan bahwa peningkatan pengembangan dan penerapan metode penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan telah memberikan kontribusi yang besar dalam mewujudkan bangunan yang ramah lingkungan, dengan kontribusi awal yang paling signifikan adalah penegakan mengenai pentingnya penilaian kinerja bangunan di berbagai aspek.

Berbagai metode penilaian kinerja bangunan telah banyak digunakan untuk meneliti dampak lingkungan dari bangunan gedung dalam beberapa dekade terakhir. Alhazmi et al. (2021) mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari pembangunan sebuah vila, dari *cradle to grave*, di Arab Saudi. *Life Cycle Assessment* (LCA) digunakan untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang timbul. Kategori dampak *midpoint* (titik tengah) yang dianalisis meliputi pemanasan global (GWP100a), penipisan lapisan ozon (ODP), pengasaman (AP), eutrofikasi (EP), oksidasi fotokimia (POCP), dan indikator permintaan energi

kumulatif (CED). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa fase penggunaan operasi vila memiliki potensi pemanasan global dan pengasaman tertinggi dengan nilai masing-masing sebesar $2,61 \times 106 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$ dan $1,75 \times 104 \text{ kg SO}_2\text{-eq}$.

Penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan juga dilakukan oleh Chevalerias (2015), yang mengevaluasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh material proyek gedung perkantoran dengan skema sertifikasi BREEAM versi Belanda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bangunan berdampak terutama pada potensi toksisitas manusia (HTP) dan potensi pemanasan global (GWP). Lebih lanjut, Dong et al. (2021) melakukan analisis komparatif hasil penilaian dampak yang ditimbulkan oleh bangunan berdasarkan sejumlah studi kasus. Untuk memahami dampak lingkungan siklus hidup bangunan, tingkat emisi dari berbagai kategori dampak lingkungan dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkan hasil LCA dari studi kasus yang berbeda. Dalam penelitian ini, 105 kasus bangunan yang diterbitkan dalam satu dekade terakhir diperiksa. Seluruh siklus hidup bangunan dianalisis, mulai dari produksi, penggunaan, hingga akhir masa pakai bangunan. Statistik untuk 7 kategori dampak dan 3 kategori kerusakan disediakan. Penelitian ini menemukan bahwa perubahan iklim dan penipisan energi tidak selalu menjadi kategori dampak yang paling signifikan.

Finnveden dan Moberg (2005) melakukan tinjauan literatur naratif untuk mengidentifikasi berbagai metode penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan yang tersedia, karakteristik dari masing-masing metode, jenis-jenis dampak yang tercakup dalam masing-masing metode dan objek kajiannya. Hasil tinjauan ini menemukan bahwa terdapat penyebaran metode yang beragam, di mana pemilihan

karakteristik, beserta dengan dampak dan objek yang ingin ditinjau sangat berpengaruh terhadap pilihan metode yang akan digunakan. Sebagai contoh, jika objek yang dikaji adalah proyek dan berfokus pada penggunaan sumber daya alam dan dampak lingkungan, AMDAL adalah alat yang paling cocok. Metode LCA dan LCC cocok untuk digunakan pada produk dan jasa, SEA cocok digunakan untuk mempelajari dampak lingkungan dari suatu negara dan wilayah, dan lain sebagainya.

Tersedianya berbagai metode penilaian kinerja bangunan mendorong Haapio dan Viitaniemi (2008) untuk menganalisis dan mengkategorikan berbagai metode yang ada. Hasil penelitiannya menemukan bahwa berbagai metode yang dikembangkan bertujuan untuk menilai berbagai jenis bangunan yang berbeda, dan menekankan pada fase-fase yang berbeda dalam siklus hidup bangunan. Maka dari itu, tinjauan pada berbagai metode penilaian kinerja bangunan perlu dilakukan agar memperoleh hasil penilaian pada keseluruhan fase dalam siklus hidup bangunan.

Berdasarkan tinjauan terhadap beberapa penelitian terdahulu, dapat dilihat bahwa mengevaluasi potensi dampak lingkungan penting untuk dilakukan agar dapat mengurangi dampak lingkungan yang mungkin timbul di masa yang akan datang. Namun, dalam pelaksanaan penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan, terdapat hambatan yang sering kali dihadapi. Nwodo dan Anumba (2019), dalam hasil tinjauan sistematis yang mereka lakukan mengenai penilaian siklus hidup bangunan secara umum menggunakan basis data Web of Science, menemukan bahwa masih terdapat beberapa hambatan dalam penggunaan LCA, seperti kurangnya prosedur untuk memilih batasan sistem yang relevan, masih

menggunakan perkiraan untuk menentukan masa pakai bangunan, dan masalah terkait analisis ketidakpastian. Oleh karena itu, selain mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh bangunan gedung, penting juga untuk mengidentifikasi hambatan yang dihadapi dalam melakukan penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan, sehingga hambatan tersebut bisa diatasi dan memperoleh hasil penilaian yang lebih baik di masa yang akan datang.

B. Landasan Teori

1. Definisi dan klasifikasi bangunan gedung

Bangunan gedung, menurut Undang-undang No. 28 Tahun 2002, merupakan wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Meningkatnya demografi menyebabkan pertumbuhan bangunan, termasuk bangunan gedung, di sebuah wilayah semakin meningkat. Bangunan gedung memiliki berbagai fungsi, antara lain fungsi hunian, keagamaan, usaha, sosial dan budaya, serta fungsi khusus. Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KLBI) (2020), yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), mengklasifikasikan bangunan gedung ke dalam sembilan (9) kelompok, antara lain:

a. Konstruksi Gedung Hunian

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan

sebagai hunian, seperti rumah tinggal, rumah tinggal sementara, rumah susun, apartemen, dan kondominium. Pembangunan gedung untuk hunian yang dikerjakan oleh perusahaan *real estate* dengan tujuan untuk dijual, kegiatan perubahan, dan renovasi gedung hunian juga termasuk dalam kelompok ini.

b. Konstruksi Gedung Perkantoran

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk gedung perkantoran, misalnya kantor dan rumah kantor (rukan), termasuk pembangunan gedung untuk perkantoran oleh perusahaan *real estate* dengan tujuan untuk dijual, kegiatan perubahan, dan renovasi gedung perkantoran.

c. Konstruksi Gedung Industri

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk industri, seperti pabrik, bengkel/*workshop*, bangunan pabrik untuk pengelolaan dan pemrosesan bahan nuklir, termasuk kegiatan perubahan dan renovasi gedung industri.

d. Konstruksi Gedung Perbelanjaan

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk pusat perbelanjaan, seperti pasar, mall, toserba, toko, rumah toko (ruko), dan warung. Kelompok ini juga mencakup kegiatan pembangunan ruko oleh perusahaan *real estate* dengan tujuan untuk dijual, kegiatan perubahan, dan renovasi gedung perbelanjaan.

e. Konstruksi Gedung Kesehatan

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk sarana kesehatan, seperti puskesmas,, poliklinik, rumah sakit, balai pengobatan, gedung pelayanan kesehatan dan laboratorium, juga termasuk kegiatan perubahan dan renovasi gedung kesehatan.

f. Konstruksi Gedung Pendidikan

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk sarana pendidikan, seperti gedung sekolah, tempat kursus, laboratorium, dan bangunan penunjang pendidikan lainnya, juga termasuk kegiatan perubahan dan renovasi gedung pendidikan.

g. Konstruksi Gedung Penginapan

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk penginapan, seperti hotel, losmen, dan hostel, termasuk kegiatan perubahan dan renovasi gedung penginapan.

h. Konstruksi Gedung Tempat Hiburan dan Olahraga

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk tempat hiburan, seperti gedung kebudayaan/kesenian, bioskop, gedung wisata dan rekreasi, serta gedung olahraga. Termasuk pembangunan gedung

untuk tempat hiburan yang dilakukan oleh perusahaan *real estate* dengan tujuan untuk dijual, kegiatan perubahan, dan renovasi gedung hiburan dan olahraga.

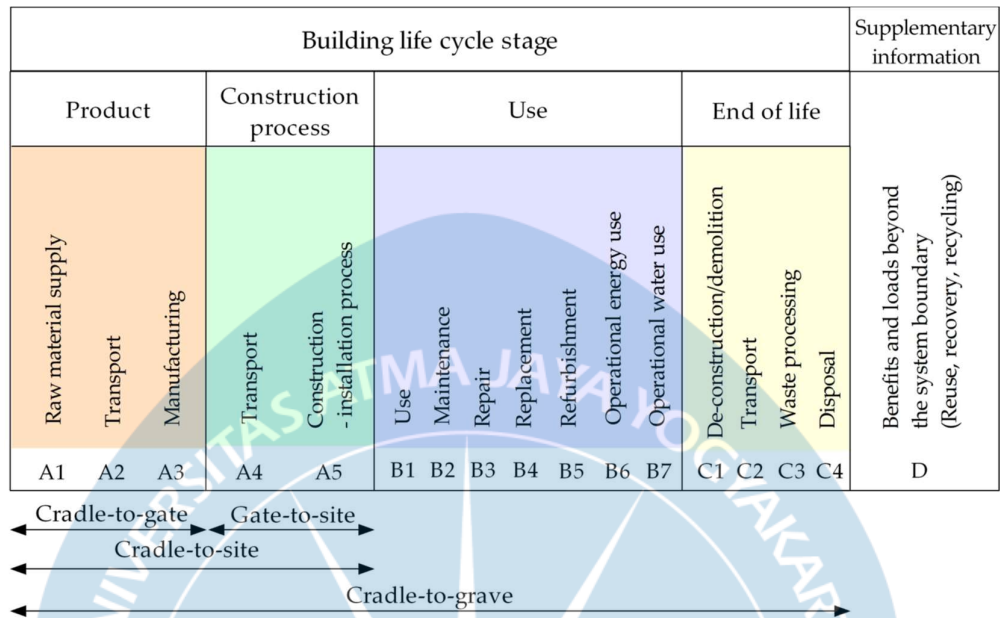
i. Konstruksi Gedung Lainnya

Kelompok gedung ini meliputi usaha pembangunan, pemeliharaan, pembongkaran dan/atau pembangunan kembali bangunan yang digunakan untuk fungsi penggunaan selain yang telah disebutkan di atas, seperti tempat ibadah (masjid, gereja, pura, wihara, kelenteng), gedung terminal/stasiun, bandara, gedung hanggar pesawat, balai yasa (kereta api), gedung negara dan pemerintah pusat/daerah, bangunan monumental, gedung bersejarah, balai pertemuan, penjara, gedung PKPPK (Pemadam Kebakaran di Bandar Udara), gudang, genset, depo, rumah pompa, gedung *power house*, gedung *tower*, gedung gardu listrik, gedung gardu sinyal, gedung penyimpanan termasuk penyimpanan bahan peledak, dan lainnya. Kelompok ini juga mencakup kegiatan perubahan dan renovasi gedung lainnya.

2. Siklus hidup bangunan

Sebuah bangunan secara umum terdiri atas enam tahap siklus hidup, yaitu ekstraksi bahan baku, manufaktur, konstruksi, operasi dan pemeliharaan, pembongkaran dan pembuangan, serta penggunaan kembali atau daur ulang (Crawford, 2011). Bangunan menggunakan energi di sepanjang siklus hidupnya, mulai dari tahap konstruksi hingga pembongkarannya. Oleh karena itu, batasan sistem penting untuk didefinisikan saat melakukan analisis terhadap bangunan.

Alur siklus hidup sebuah bangunan, menurut EN 15978, diilustrasikan pada Gambar 1. Tahapan siklus hidup yang terperinci dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan siklus hidup bangunan (Song et al., 2020)

a. Tahap Produk dan Konstruksi (Modul A)

Tahap produk (A1-A3) meliputi pasokan bahan baku (A1, ekstraksi dan pengumpulan bahan baku primer), pengangkutan (A2, pengangkutan ke pabrik untuk diproduksi) dan manufaktur (A3, pembuatan bahan baku menjadi produk). Tahap konstruksi (A4-5) meliputi pengangkutan (A4, pengangkutan material ke lokasi) dan proses instalasi konstruksi (A5, penggunaan peralatan konstruksi).

Tahap pertama dari siklus hidup bangunan adalah ekstraksi bahan baku. Bahan baku, seperti bijih besi, tembaga, kayu, minyak bumi, dan lainnya, diangkut ke pabrik untuk kemudian diolah dengan menggunakan teknologi menjadi bentuk yang lebih berguna untuk digunakan sebagai bahan bangunan atau konstruksi, seperti baja, semen, aluminium, dan plastik. Konstruksi adalah proses pemasangan bagian-bagian atau bahan-bahan secara bersama-sama

untuk membentuk sesuatu, yaitu struktur yang dibangun (Ngwepe dan Aigbavboa, 2015). Tahap konstruksi bangunan merupakan salah satu tahap yang paling lama, khususnya pada bangunan bertingkat, dan pada tahap inilah material dalam jumlah besar dikonsumsi.

b. Tahap Operasi (Modul B)

Tahap operasi (B1-B7) meliputi pemakaian bangunan (B1), tahap pemeliharaan dan perbaikan (B2-B4) yang mencakup produksi bahan bangunan yang digunakan untuk memelihara (B2), memperbaiki (B3) dan mengganti (B4) komponen bangunan selama tahap operasi, pemugaran atau renovasi pada komponen bangunan (B5), serta tahap utilitas (B6-B7) yang meliputi penggunaan energi operasional (B6, produksi dan penggunaan energi) dan penggunaan air operasional (B7, pasokan air dan pengolahan air limbah).

Tahap pengoperasian bangunan kemungkinan besar adalah yang paling lama karena beberapa bangunan memiliki masa pakai lebih dari 50 tahun. Air dan energi diperlukan untuk pengguna bangunan dan peralatan seperti *Heat-Ventilation-Air Conditioning* (HVAC), sistem penerangan, serta jaringan listrik dan telekomunikasi. Total dampak lingkungan dari sebuah bangunan selama tahap operasinya dapat memiliki urutan yang sama besarnya dengan dampak yang dihasilkan selama siklus hidupnya (Khasreen et al., 2009).

Pemeliharaan dan pemugaran dapat dilakukan dua kali sebelum bangunan dihancurkan. Limbah padat dalam jumlah besar dihasilkan selama pemeliharaan dan pemugaran, dan juga sumber daya alam dalam jumlah besar dikonsumsi lagi untuk material baru dan dengan demikian semua tahap

pemeliharaan sebelumnya diulang sehingga menciptakan lebih banyak dampak pada lingkungan.

c. Tahap Akhir Masa Pakai (Modul C)

Tahap akhir masa pakai (modul C) meliputi tahap dekonstruksi/pembongkaran (C1), pengangkutan (C2, pengangkutan sampah bangunan dari lokasi ke fasilitas pembuangan, dan pengangkutan material yang dapat didaur ulang ke fasilitas daur ulang), pengolahan sampah (C3), dan pembuangan (C4, penimbunan sampah bangunan).

Pembongkaran adalah proses pembongkaran struktur, memisahkan komponen-komponen dengan tujuan untuk menghilangkan seluruh bangunan yang ada. Pembongkaran bangunan diperlukan karena seperti halnya produk lainnya, bangunan memiliki umur yang terbatas. Selain itu, karena pertimbangan sosial seperti keselamatan, kesehatan, pengembangan infrastruktur, dan juga kemajuan teknis, bangunan harus dibongkar untuk memberi ruang bagi bangunan yang lebih berguna yang akan memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna yang relevan. Pembongkaran struktur besar seperti bangunan menghasilkan limbah padat dalam jumlah besar dan ini mengarah ke tahap terakhir di mana limbah padat harus ditangani.

d. Perluasan Sistem (Modul D)

Modul D mengukur potensi manfaat lingkungan dan ekonomi dari penggunaan kembali, pemulihan, dan daur ulang material dan energi dari bangunan dan sistem yang ada. Keluaran ini diasumsikan sebagai pengganti bahan atau produksi energi dari teknologi yang ada. Sebagai contoh, logam daur

ulang menggantikan potongan logam, beton daur ulang menggantikan agregat dan produk kayu reklamasi menggantikan bahan baku dan/atau digunakan untuk produksi energi.

3. Dampak lingkungan

Aktivitas yang dilakukan oleh manusia berpotensi menyebabkan perubahan pada lingkungan sekitar, di samping perubahan alami yang terjadi pada sistem lingkungan. Perubahan kondisi lingkungan yang disebabkan oleh manusia dapat memiliki konsekuensi positif atau negatif, yang disebut dengan "efek", dan mengimplikasikan perubahan dalam lingkungan alam, menyertai "dampak" yang menunjukkan hasil dari perubahan ini (Lotfy dan Ismaeel, 2022). Dampak dapat dijelaskan dalam hal besaran dan signifikansinya. Dampak ini kemudian dapat diklasifikasikan ke dalam kategori dampak titik tengah dan titik akhir (Ismaeel, 2018).

Penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan dapat dilakukan berdasarkan titik tengah dan/atau titik akhir. Hal ini tergantung pada metode penghitungan relevansi lingkungan dari indikator kategori. Pendekatan titik tengah lebih terkait dengan aliran dasar, yang dinyatakan dalam CO₂-ekuivalen, sedangkan penilaian menggunakan titik akhir menyampaikan informasi yang relevan tentang aliran karakterisasi kepada pengambil keputusan. Hal ini tergantung pada jenis penerima (kesehatan manusia, ekosistem, dan sumber daya), skala geografis (global, regional, dan lokal), prioritas pengurangan (prioritas tinggi, sedang, dan rendah), serta media yang terkena dampak (udara, air, dan sumber daya) (Goedkoop dan Huijbregts, 2013). Dampak pada sumber daya meliputi penipisan sumber daya alam

(penggunaan air, ekstraksi mineral, penggunaan lahan, dan sumber energi yang terbatas). Dampak pada udara meliputi pengasaman udara, oksidasi fotokimia, dan penipisan lapisan ozon. Dampak pada air meliputi toksisitas lingkungan air dan eutrofikasi air. Dampak pada iklim meliputi perubahan iklim sebagai akibat dari fenomena pemanasan global. Kesehatan manusia meliputi toksisitas pada manusia, anorganik pernapasan, dan radiasi ion (Park et al., 2020).

4. Sistem penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan

Hingga saat ini, banyak alat penilaian telah digunakan dan dikembangkan untuk secara efektif mendorong proses pengambilan keputusan ke arah pencapaian tujuan keberlanjutan dalam sektor konstruksi. Beberapa kerangka kerja metodologis menganalisis satu atau beberapa aspek lingkungan yang terkait dengan kegiatan konstruksi, seperti protokol ITACA, LEED, DGNB, BREEAM, dan CASBEE. Selain perangkat-perangkat ini, *life cycle assessment* (LCA), yang diatur oleh ISO 14040 dan ISO 14044, memiliki potensi untuk menganalisis lingkungan secara keseluruhan yang terkait dengan seluruh siklus hidup bangunan (Caruso et al., 2017). LCA memungkinkan untuk mengukur dampak lingkungan dari sebuah bangunan selama siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi bahan baku hingga akhir masa pakai (dengan kondisi yang berbeda tergantung pada ruang lingkup analisis), tidak hanya dalam hal emisi CO₂ tetapi juga dalam bentuk dampak yang berbeda terhadap ekosistem, penggunaan sumber daya alam dan kesehatan manusia (*Life-Cycle Impact Assessment*).

Setiap sistem penilaian dan sistem pemeringkatan dikembangkan oleh organisasi yang berbeda, dan maka dari itu, bervariasi sampai batas tertentu. Pada

dasarnya, sistem penilaian ini mencakup fase yang berbeda dari siklus hidup bangunan, dan mempertimbangkan isu lingkungan yang berbeda (Haapio dan Viitaniemi, 2008b). Selain itu, masing-masing sistem penilaian dikembangkan untuk tujuan dan jenis bangunan yang berbeda. Beberapa contoh alat atau sistem penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan di berbagai negara ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi sistem penilaian kinerja bangunan terhadap lingkungan (Cheng et al., 2017)

Sistem Penilaian	Jenis Alat	Negara	Pengembang	Tahun
BEES	LCA	Amerika Serikat	U.S. National Institute of Standards and Technology	2002
ATHEN	LCA	Kanada	ATHENA Sustainable Material Institute	1997
BEAT	LCA	Denmark	Danish Building Research Institute	1999
Eco-Quantum	LCA	Belanda	IVAM, University of Amsterdam	1999
BREEAM	CBT	Inggris	Building Research Establishment (BRE)	1990
LEED	CBT	Amerika Serikat	U.S. Green Building Council	1998
Green Star	CBT	Australia	Green Building Council Australia	2003
CASBEE	CBT	Jepang	Japan Sustainable Building Consortium	2004