

Bab II Kajian Literatur

II.1 Penelitian Terdahulu

II.1.1 Standar Bangunan Berkelanjutan

Green building atau bangunan hijau muncul akibat keresahan akan pemanasan global yang semakin memburuk. Konsep bangunan hijau diharapkan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara penghematan energi, penambahan luasan lanskap dalam kawasan, penggunaan material daur ulang, penggunaan air daur ulang, dan lain sebagainya. Bangunan hijau mulai diadaptasi di Amerika Serikat dan mulai menyebar ke seluruh dunia, termasuk Indonesia. Saat ini terdapat asosiasi bangunan hijau bernama *World Green Building Council (WGBC)* yang merupakan pusat asosiasi bangunan hijau. Setiap negara memiliki lembaga bangunan hijau mandiri yang harus tergabung sebagai anggota WGBC agar dapat memberikan sertifikasi bangunan hijau. *Green Building Council Indonesia (GBCI)* merupakan lembaga mandiri dan non-profit yang menyediakan sertifikasi bangunan hijau secara resmi di Indonesia. Setiap negara juga memiliki *rating tools* atau perangkat penilaian yang berbeda. Kriteria di dalam perangkat penilaian disesuaikan dengan kondisi dan regulasi negara setempat. Amerika Serikat mempunyai LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) yang juga digunakan di berbagai negara, Singapura mempunyai BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), dan Indonesia mempunyai *GreenShip*.

Illankoon dkk (2017) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan kriteria dasar dari delapan perangkat penilaian serta mengevaluasi kriteria tersebut. Perangkat penilaian yang digunakan dalam penelitian ini adalah LEED, BREEAM, BEAM (*Building Environmental Assessment Method*) Plus, *Green Mark*, CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*), GBI (*Green Building Index*), IGBC (*Indian Green Building Council*), dan *Green Star*. Kriteria penilaian yang diuji adalah tapak bangunan, energi, air, kualitas lingkungan dalam ruang, material, limbah, dan manajemen bangunan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan studi literatur tentang kriteria dasar pada setiap

perangkat penilaian dan menghubungkan kriteria-kriteria tersebut dengan perangkat penilaian yang lain. Setiap kriteria yang ditemukan di satu perangkat penilaian akan mendapatkan satu poin untuk mengukur seberapa penting kriteria tersebut dalam menilai bangunan hijau. Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kriteria yang paling banyak dibahas adalah energi, disusul dengan air dan kualitas lingkungan dalam ruang.
- b. Kriteria manajemen merupakan kriteria yang paling sedikit dibahas dalam tujuh kriteria tersebut.
- c. Terdapat banyak persamaan dalam perangkat penilaian LEED, *Green Mark*, dan GBI. Sedangkan untuk kriteria BREEAM dan *Green Star*, kedua perangkat penilaian tersebut tidak hanya memiliki kemiripan namun juga memiliki distribusi poin pada setiap kriteria yang seimbang. CASBEE memiliki alokasi poin dan kriteria yang berbeda dengan perangkat penilaian lain yang disebabkan oleh perbedaan geografis.
- d. Dalam pengembangan kriteria dalam perangkat penilaian, sebaiknya mempertimbangkan kriteria tentang spesifikasi ekonomi dan sosial.

Doan dkk (2017) melakukan penelitian tentang perbandingan perangkat penilaian LEED, BREEAM, CASBEE, dan *Green Star NZ*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, kelebihan, dan kekurangan setiap perangkat penilaian. Penelitian dilakukan dengan studi literatur dan analisis secara mendalam terhadap masing-masing perangkat penilaian. Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. BREEAM merupakan perangkat penilaian pertama yang disusun sehingga memberikan pengaruh terhadap perangkat penilaian lain seperti LEED, *Green Star*, dan CASBEE. BREEAM terkenal akan fleksibilitasnya dan dapat digunakan pada tahap desain, konstruksi, operasi, dan perbaikan. Paling tidak sebanyak 560.000 bangunan di 77 negara memiliki sertifikasi BREEAM.
- b. LEED disusun oleh US *Green Building Council* dan telah menyertifikasi setidaknya 79.000 bangunan di 160 negara dan teritorial. LEED memfokuskan

- penilaian terhadap tapak bangunan, efisiensi air, energi, material dan sumber material, dan kualitas lingkungan dalam ruang.
- c. CASBEE merupakan perangkat penilaian yang disusun oleh akademis, pekerja industri, dan pemerintahan Jepang. CASBEE dianggap perangkat penilaian yang membahas berbagai kriteria secara luas. Paling tidak sebanyak 541 bangunan sudah tersertifikasi CASBEE di Jepang.
 - d. *Green Star NZ* merupakan perangkat penilaian yang disusun oleh *New Zealand Green Building Council* dan merupakan pengembangan dari *Australian Green Star*. *Green Star NZ* merupakan perangkat penilaian satu-satunya yang tidak melakukan penilaian bangunan secara manual. Terdapat minimal 125 bangunan yang sudah tersertifikasi *Green Star NZ* di Selandia Baru.
 - e. Keempat perangkat penilaian tersebut berfokus pada kriteria yang berbeda namun memiliki persamaan dalam kriteria kualitas lingkungan dalam ruangan, energi, dan material dan sumber material.
 - f. LEED dan *Green Star NZ* memiliki kategori yang mirip dengan BREEAM, sedangkan kriteria dalam CASBEE bertentangan dengan BREEAM.
 - g. BREEAM, LEED, dan *Green Star NZ* memiliki kombinasi antara kriteria wajib dan tidak wajib namun ketiga perangkat penilaian memiliki perbedaan dalam hal penentuan dan kalkulasi poin pada setiap kriteria. Dalam BREEAM dan *Green Star NZ*, jika bangunan memenuhi kriteria wajib maka bangunan tersebut akan mendapatkan poin. Sedangkan dalam LEED, bangunan tidak mendapatkan poin jika memenuhi kriteria wajib.

Ding dkk (2018) melakukan sebuah studi kasus di proyek ShenzhenVanke, Tiongkok untuk mengevaluasi penerapan konsep bangunan hijau. Perangkat penilaian yang digunakan adalah *Chinese Evaluation Standard for Green Building (ESGB)* yang berfokus pada tahap desain dan operasional. Penelitian ini mengevaluasi tujuh indikator yang terdiri dari penghematan lahan dan lingkungan luar ruangan, penghematan energi, penghematan air, pemanfaatan material, kualitas lingkungan dalam ruang, manajemen operasional, dan manajemen konstruksi. Metode penelitian yang digunakan adalah wawancara, survei, dan observasi sehingga membuahkan hasil sebagai berikut:

- a. Sertifikasi bangunan baru hanya berfokus pada tahap desain sehingga menimbulkan keraguan akan kesiapterapan penerapan standar bangunan hijau pada bangunan tersebut.
- b. Sertifikasi bangunan hijau pada tahap operasional masih sedikit dilakukan karena lima faktor sebagai berikut:
 - i. Peraturan pemerintah yang inkonsisten.
Di satu sisi, pemerintah mendukung sertifikasi bangunan hijau. Namun di sisi lain, pemerintah juga tidak akan mengeluarkan ijin pembangunan jika bangunan belum mendapatkan label bangunan hijau. Padahal, ijin pembangunan diperlukan dalam proses sertifikasi.
 - ii. Kriteria dalam perangkat penilaian tidak sejalan dengan pihak pengembang. Pengadaan dan pemeliharaan sistem pengairan yang memenuhi kriteria dalam perangkat penilaian memerlukan biaya yang cukup besar. Hal ini dapat menyebabkan mengurangi keuntungan yang ditargetkan oleh pihak pengembang sehingga membuat pihak pengembang ragu untuk melakukan sertifikasi.
 - iii. Kriteria dalam perangkat penilaian sulit untuk terpenuhi. Beberapa kriteria memerlukan teknologi yang terkadang tidak berjalan dengan baik pada tahap operasional. Selain itu, terdapat material yang tidak tersedia di pasar namun diperlukan dalam pembangunan jika ingin memenuhi kriteria bangunan hijau. Material tersebut juga biasanya memiliki harga yang cukup tinggi dan berasal dari daerah yang sulit dijangkau.
 - iv. Perangkat penilaian yang diakui secara internasional seperti BREEAM dan LEED belum mendukung sertifikasi bangunan hijau pada tahap operasional sehingga belum ada urgensi untuk melakukan sertifikasi pada tahap operasional di Tiongkok.
 - v. Kurangnya pengetahuan tentang perkembangan bangunan hijau. Teknologi yang diperlukan dalam mempermudah sertifikasi bangunan hijau masih jarang digunakan karena asesor bangunan hijau belum familiar terhadap teknologi tersebut. Oleh karena itu, butuh dukungan dari pemerintah untuk melakukan pelatihan untuk asesor bangunan hijau.

Berdasarkan beberapa sumber di atas, konsep bangunan hijau sudah sangat umum di khalayak masyarakat umum namun belum memberikan hasil yang signifikan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pada tanggal 1 Januari 2016, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mengesahkan tujuan pembangunan berkelanjutan atau yang lebih dikenal sebagai *Sustainable Development Goals* (SDGs). SDGs terdiri dari 17 tujuan yang diharapkan dapat dipenuhi pada tahun 2030 mendatang untuk menciptakan kehidupan yang lebih baik di dunia. Salah satu dari tujuan tersebut adalah menciptakan kota dan pemukiman yang berkelanjutan. Mulai saat itu pembangunan di Indonesia mengedepankan konsep *sustainable building* atau bangunan berkelanjutan. Selain bangunan hijau, muncul konsep baru yaitu *near zero energy building* (nZEB). Konsep ini berfokus pada penggunaan sumber energi baru terbarukan sebagai sumber energi utama sehingga tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. WGBC menargetkan pada tahun 2030 semua bangunan baru harus berkonsep nZEB dan pada tahun 2050 semua bangunan, baik bangunan baru dan bangunan lama, harus berkonsep nZEB. Hal ini menimbulkan masalah baru. Penggunaan sumber energi baru terbarukan secara masih memerlukan lahan yang luas dan teknologi yang mumpuni. Oleh karena itu, terdapat tiga tahap untuk mewujudkan konsep nZEB. Tahap-tahap tersebut terdiri dari:

1. Mengurangi pemakaian energi.

Pengurangan energi dapat dilakukan dengan cara mematikan peralatan listrik ketika tidak digunakan, menggunakan ventilasi alami daripada pendingin ruangan, dan lain sebagainya. Pada tahap ini belum memerlukan teknologi.

2. Meningkatkan efisiensi energi.

Tahap ini memerlukan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi energi sehingga bangunan memiliki indeks energi yang rendah. Bangunan tersebut harus menjadi bangunan hemat energi sebelum masuk ke dalam tahap selanjutnya.

3. Memakai sumber energi baru terbarukan yang berasal dari dalam atau luar kawasan.

Ketika bangunan memiliki keperluan energi yang sedikit, maka sangat memungkinkan untuk menggunakan energi yang diperlukan dari sumber energi

terbarukan. Dengan demikian, bangunan tersebut tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca sama sekali dalam hal pemakaian energi.

Dalam mewujudkan konsep nZEB, diperlukan sertifikasi yang dapat memvalidasi bangunan. Saat ini terdapat sertifikasi EDGE yang disusun oleh *International Finance Corporation* (IFC). EDGE tidak hanya berfokus pada penghematan energi dan sumber energi baru terbarukan, namun juga penghematan air dan pemakaian material daur ulang.

Harkouss dkk (2017) melakukan penelitian untuk menemukan desain bangunan yang dapat mengoptimalkan kinerja nZEB di Lebanon. Metodologi yang digunakan adalah studi literatur dan simulasi bangunan. Spesifikasi yang ingin diperhatikan dalam penelitian ini adalah optimalisasi peralatan listrik seperti peralatan *heat, ventilation, and air conditioning* (HVAC) dan pencahayaan, spesifikasi bangunan, pemanfaatan ventilasi alami, dan pemakaian *photovoltaic* (PV) atau panel surya. Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Desain bangunan nZEB harus disesuaikan berdasarkan kondisi geografis dan iklim setempat. Namun di luar dari kondisi iklim, bangunan perlu didesain dengan meminimalkan beban termal ruang dengan desain pasif sehingga keperluan listrik dapat sepenuhnya berasal dari sumber energi baru terbarukan.
- b. Untuk mencapai hasil yang maksimal, arsitek dapat mempertimbangkan spesifikasi level insulasi dinding dan atap, jenis kaca jendela, *wall-to-wall ratio* pada sisi timur dan barat bangunan, penempatan penghangat dan pendingin ruangan, serta ukuran PV.

Kaewunruen dkk (2018) melakukan evaluasi terhadap bangunan lama nZEB dalam spesifikasi teknik dan finansial. Metode penelitian yang digunakan adalah pemodelan menggunakan aplikasi *Autodesk Revit* dan analisis termal, energi, dan biaya pada bangunan. Analisis bangunan dilakukan dengan cara membandingkan simulasi antara bangunan biasa dan bangunan nZEB. Berdasarkan penelitian tersebut, berikut merupakan hasil yang didapatkan:

- a. Bangunan nZEB dapat menghemat biaya awal sebesar £390-£540/m² dibandingkan dengan bangunan biasa.
- b. Bangunan nZEB dapat menghemat biaya listrik sebanyak £700/tahun.
- c. Penggunaan panel surya pada atap bangunan dapat mengakomodir kebutuhan listrik sebanyak 60%-90% sesuai dengan musim sepanjang tahun.
- d. Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai sumber energi baru terbarukan, terutama untuk sumber energi *off-site* adalah turbin angin dan *biomass*.
- e. Masalah utama yang dapat menghambat penerapan konsep nZEB pada bangunan lama adalah sulitnya membangun sumber energi baru terbarukan. Namun, masalah tersebut dapat diatasi dengan cara memasang panel surya di atap bangunan atau menyuplai energi dari kawasan lain.

Tumminia dkk (2020) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang diakibatkan oleh teknologi dalam penerapan konsep nZEB. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus, perhitungan, dan simulasi. Studi kasus yang dilakukan mencakup tentang interaksi antar jaringan, potensi pemanasan global, dan alternatif sumber energi baru terbarukan seperti *fuel cells*. Simulasi yang dilakukan dengan cara menggabungkan beban energi dan indikator interaksi antar jaringan dengan indikator dampak terhadap lingkungan. Hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Selama satu tahun, hanya sebanyak 76% dari total energi yang dihasilkan oleh panel surya yang dapat dialirkan ke jaringan listrik.
- b. Pengurangan pemakaian energi dan pemakaian sumber energi baru terbarukan tidak cukup untuk menerapkan konsep nZEB. Konsep ini memerlukan integrasi antar jaringan yang efektif dan optimalisasi pendistribusian energi.
- c. Pengadaan sumber energi baru terbarukan secara *on-site* dapat meminimalkan kemungkinan pengurangan energi pada saat distribusi.
- d. Penggunaan *fuel cell* dapat menjadi alternatif sumber energi terbarukan karena *fuel cell* dapat meningkatkan efisiensi energi sebuah bangunan dengan cara mengendalikan penghasilan energi sesuai dengan kebutuhan bangunan. Kekurangan dari *fuel cell* adalah sumber energi ini menghasilkan CO₂ dan memerlukan teknologi untuk mengontrol emisi CO₂.

Seiring berjalannya waktu, para profesional tidak hanya berfokus pada kesehatan bangunan dan lingkungan, namun pada kesehatan penghuni bangunan. Manusia menghabiskan hampir seluruh hidupnya berada di dalam ruangan. Desain bangunan yang tidak memperhatikan kesehatan penghuninya menimbulkan *sick building syndrome* (SBS). SBS merupakan berbagai gangguan kesehatan fisik dan psikis yang disebabkan oleh bangunan yang kurang memadai. Salah satu contoh gangguan kesehatan yang ditimbulkan adalah iritasi mata dan saluran pernapasan yang diakibatkan oleh ventilasi yang kurang memadai sehingga polutan terperangkap di dalam ruangan dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, *International WELL Building Institute* (IWBI) menyusun perangkat penilaian yang berfokus pada kesehatan penghuni bangunan bernama WELL. WELL tidak hanya berfokus pada desain bangunan, namun juga fasilitas yang ditawarkan oleh bangunan sehingga penghuni mendapatkan kualitas hidup yang baik dan kenyamanan untuk berada di dalam ruangan dalam waktu yang lama. Selain WELL, terdapat pula *Fitwel* namun penggunaan perangkat penilaian ini masih jarang digunakan.

Mao dkk (2017) mengidentifikasi faktor yang dapat mempengaruhi *healthy building* di Tiongkok Timur. Penelitian ini dilakukan dengan survei dan analisis data. Terdapat empat tahap yang diuji, yaitu tahap desain, konstruksi, operasional, dan pembongkaran. Setiap tahap memiliki kriteria penilaian yang berbeda-beda. Narasumber kemudian akan menentukan tingkat kepentingan kriteria dalam pengaplikasian *healthy building*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat tiga kategori faktor penentu *healthy building* yang terbagi sebagai berikut:

a. Kesehatan Bangunan

Kategori ini mencakup denah lokasi, optimasi desain struktur, optimasi desain arsitektur, rencana anggaran biaya (RAB), keamanan konstruksi, perencanaan proyek, kondisi lingkungan sekitar bangunan, kinerja keselamatan, dan kinerja energi.

b. Kesehatan Lingkungan

Kategori ini mencakup *building envelope*, sumber energi baru terbarukan dan daur ulang material, perlindungan terhadap ekologi, polusi udara, limbah cair,

limbah padat, polusi suara, polusi cahaya, material yang bersifat radioaktif, debu dan polusi udara, kontaminasi air, limbah pembongkaran, getaran dan ledakan, dan polusi udara dari pembongkaran bangunan.

c. Kesehatan Penghuni Bangunan

Kategori ini terdiri dari getaran bangunan, beban kerja buruh, kesehatan mental buruh, polusi cahaya, polusi beracun dari material bangunan, kepuasan penghuni bangunan terhadap kualitas lingkungan dalam ruang, kualitas lingkungan dalam ruang,

Allen dkk (2017) menyusun sebuah panduan tentang spesifikasi dasar yang harus tersedia agar sebuah bangunan dapat dikatakan sebagai *healthy building*. Panduan tersebut disusun dengan metode meta-analisis dari berbagai literatur yang berhubungan dengan dampak bangunan bagi kesehatan penghuninya. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah terdapat sembilan spesifikasi dasar *healthy building*, yaitu:

a. Ventilasi

Ventilasi udara sangat penting untuk sirkulasi udara sehingga udara luar dapat masuk ke dalam ruangan dan mengurangi konsentrasi polusi udara seperti CO₂ dalam ruang. Jika udara luar sudah terkontaminasi, maka bangunan dapat menggunakan ventilasi mekanikal sehingga udara dari luar akan difiltrasi sebelum masuk ke dalam ruang. Bangunan yang mempunyai ventilasi yang kurang dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti sakit kepala, sesak nafas, batuk, iritasi kulit, dan lain sebagainya. Ventilasi yang buruk juga dapat mengurangi performa penghuni bangunan.

b. Kualitas Udara dalam Ruang

Kualitas udara dalam ruang bergantung pada konsentrasi polusi dalam ruang. Sumber polusi dapat berupa benda padat, cair, maupun gas seperti cat dinding, alat pembersih, serbuk sari, produk perawatan pribadi, dan furnitur. Polutan yang dapat membahayakan kesehatan penghuni adalah nitrogen oksida, karbon monoksida, dan *volatile organic compounds* (VOCs). Kualitas udara dalam ruang yang buruk dapat menyebabkan berbagai penyakit kardioraks seperti asma, bronkitis, dan kanker paru-paru. Selain memperburuk kesehatan, kualitas

udara dalam ruang yang buruk juga dapat mengurangi produktivitas dan merusak bangunan.

c. Kualitas Air

Air merupakan nutrisi esensial dalam kehidupan manusia sehingga organ dalam tubuh dapat bekerja dengan baik. Meminum air yang telah terkontaminasi dapat menyebabkan diare, kolera, dan polio. Dalam menjaga kualitas air, pengelola bangunan perlu memperhatikan kandungan dalam air dan sistem perpipaan. Pipa yang telah berkarat dapat mengontaminasi air bersih. Selain itu, perlu diperhatikan juga sistem penyimpanan air sehingga tidak muncul mikroorganisme dalam air.

d. Kesehatan Termal

Kesehatan termal merupakan pengembangan dari kenyamanan termal yang mencakup seluruh kondisi termal yang berhubungan dengan kesehatan. Suhu udara dalam ruang dapat dipengaruhi oleh desain bangunan, struktur bangunan, kondisi geografis bangunan, kepadatan penghuni, dan ventilasi. Suhu udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gejala SBS, memperburuk suasana hati, dan meningkatkan detak jantung. Suhu udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan ruangan menjadi tempat pertukaran berbagai macam penyakit seperti flu karena virus dapat bertahan lebih lama di tempat dengan suhu rendah.

e. Debu dan Hama

Debu dapat masuk dari luar ruangan dan menempel di permukaan furnitur dalam ruang yang kemudian dihirup oleh penghuni bangunan. Debu dapat membawa virus, bakteri, bahan kimia, dan alergen sehingga dapat membahayakan kesehatan penghuni. Sedangkan hama dapat berasal dari tungau debu, kecoa, tikus, kucing, dan anjing. Tungau debu memakan sel kulit manusia dan hidup di furnitur seperti tempat tidur. Walaupun gigitan tungau debu tidak berbahaya, bagian tubuh tungau dapat menyebabkan asma dan demam alergi. Serangga seperti kecoa dapat membawa alergen ke dalam ruangan yang dapat menyebabkan asma kronis. Hama seperti tikus menyebarkan penyakit lewat urin. Urin tikus yang kering dapat dihirup oleh manusia sehingga dapat menyebabkan reaksi alergi. Kucing dan anjing dapat mempengaruhi kesehatan pernafasan manusia yang disebabkan oleh bulu yang rontok dan menempel di

berbagai permukaan seperti pakaian dan karpet lalu dihirup oleh manusia. Meskipun hama perlu diberantas, penggunaan pestisida bukan pilihan karena kandungan bahan kimia dalam pestisida dapat membahayakan kesehatan penghuni dalam jangka panjang.

f. Pencahayaan dan Pemandangan

Mata mempunyai dua fungsi, yaitu untuk melihat dan mendeteksi cahaya untuk memberitahu otak tentang waktu. Jenis intensitas cahaya, spesifikasi ruang, dan waktu yang berbeda menimbulkan reaksi yang berbeda di otak. Tanpa pencahayaan yang baik, jam biologis dalam tubuh manusia dapat terganggu sehingga dapat menyebabkan gangguan tidur. Pencahayaan alami dari jendela dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi kantuk pada siang hari.

g. Kebisingan

Kebisingan dalam ruang dapat berasal dari lalu lintas jalan, kereta, pesawat terbang, penggunaan alat berat, dan lain sebagainya sehingga dapat mengganggu aktifitas. Selain dari luar bangunan, kebisingan juga dapat berasal dari sistem HVAC, peralatan kantor, penyedot debu, atau percakapan antar penghuni. Kebisingan yang berlebih dalam waktu yang panjang dapat menyebabkan penghuni kehilangan kemampuan mendengar. Selain itu, kebisingan juga dapat meningkatkan tekanan darah, kelelahan, meningkatkan hormon stres, bahkan frustrasi.

h. Kelembaban

Kelembaban dalam ruang berpengaruh pada kesehatan penghuni dan kondisi bangunan karena ruangan yang lembab dapat menimbulkan hama. Hal ini dapat diakibatkan oleh kebocoran saluran air dan atap, kondensasi permukaan yang dingin, dan penggunaan *plumbing appliances*. Kelembaban ruang dapat mempengaruhi sistem imun penghuni bangunan sehingga penghuni akan lebih rawan terjangkit berbagai penyakit seperti asma dan menyebabkan bersin, iritasi mata, dan iritasi kulit.

i. Keselamatan dan Keamanan

Kebutuhan dasar manusia selain makanan dan minuman adalah perasaan selamat dan aman. Peran pengelola bangunan dalam hal ini adalah untuk menciptakan lingkungan dan bangunan yang aman dari tindakan kriminal

seperti perampokan. Lingkungan bangunan yang tidak aman dapat menyebabkan gangguan psikologis bagi penghuni yang kemudian menyebabkan stres dan menurunkan daya tahan tubuh penghuni.

HEAL (2020) menyusun sebuah panduan tentang peran *healthy building* dalam menjaga kesehatan penghuni bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah meta-analisis. Dalam panduan ini dikatakan bahwa bangunan merupakan penentu kesehatan penghuni karena manusia menghabiskan waktu selama 20 jam dalam satu hari berada di dalam ruangan. Kondisi bangunan yang buruk dapat menyebabkan SBS sehingga penghuni bangunan akan sakit jika berada di dalam bangunan tersebut dalam waktu yang lama. Penyakit yang dapat disebabkan adalah penyakit pernafasan dan jantung dari polusi udara dalam ruang, kegelisahan dan depresi ketika bangunan tidak dapat memberikan rasa aman, dan ketidaknyamanan yang diakibatkan oleh minimnya kualitas pencahayaan dan tingkat kebisingan yang tinggi. Selain itu, bangunan yang buruk juga dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan energi bangunan yang tidak terkontrol dan berasal dari sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga menimbulkan emisi gas rumah kaca. Dalam menanggulangi masalah ini, renovasi bangunan dapat menjadi solusi terbaik. Renovasi yang dapat dilakukan mencakup meningkatkan insulasi bangunan, memperbanyak sumber cahaya alami, meningkatkan efisiensi penggunaan energi, dan menambahkan ventilasi dalam ruang.

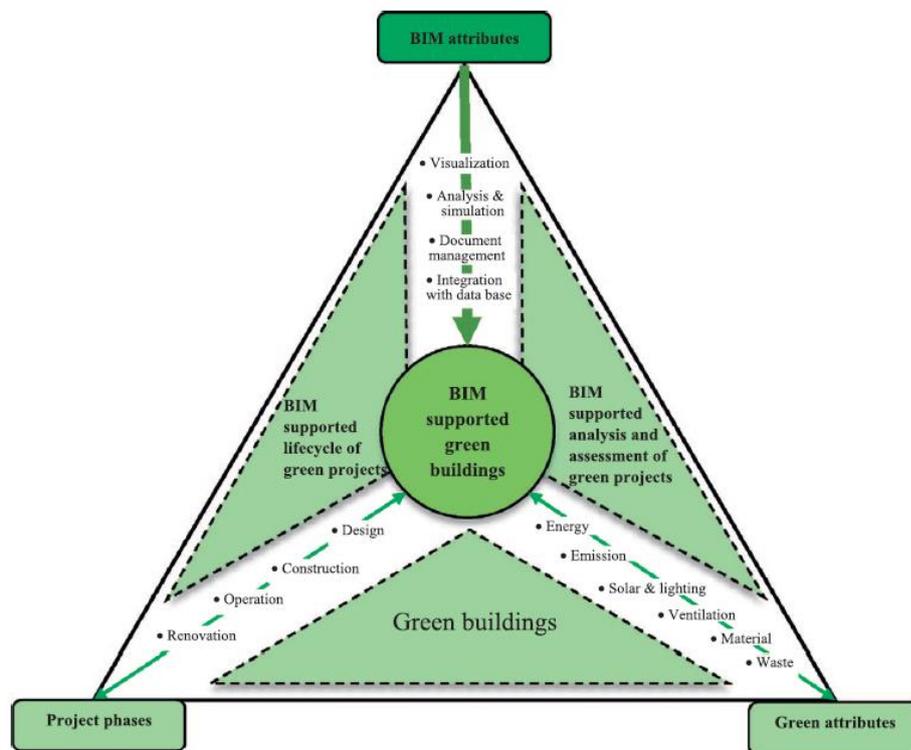
II.1.2 Aplikasi BIM untuk Desain

Building Information Modelling (BIM) telah digunakan dalam membantu proses sertifikasi bangunan hijau walaupun belum semua perangkat penilaian bangunan hijau telah menggunakan BIM. Perangkat penilaian yang telah menggunakan BIM adalah LEED, BREEAM, *Green Mark*, BEAM Plus, dan CASBEE. Teknologi BIM dianggap dapat menyertifikasi bangunan hijau secara efisien. BIM dapat membantu koordinasi antar *stakeholders* dan mengintegrasikan informasi. Namun penggunaan BIM belum diterapkan dalam sertifikasi nZEB dan *healthy building*.

Liu dkk (2017) melakukan uji kelayakan terhadap kelayakan BIM dalam membantu proses sertifikasi *Green Mark*. Metode yang digunakan adalah survei kelayakan, *delphi study*, dan wawancara. Narasumber yang digunakan berasal dari kalangan profesional yang berhubungan dengan BIM dan *Green Mark*. Profesional yang tergabung adalah arsitek, insinyur, kontraktor, manajer BIM, asesor *Green Mark*, dan peneliti. Hasil dari uji kelayakan ini adalah sebanyak 31 dari 78 poin dapat diselesaikan dengan bantuan BIM dan 47 poin lainnya tidak dapat diselesaikan dengan bantuan BIM karena membutuhkan pengumpulan dokumentasi fisik, memerlukan perhitungan yang tidak dapat diselesaikan oleh BIM, atau memerlukan pengukuran secara langsung. Kriteria yang dapat dibantu oleh BIM meliputi kriteria dalam hal desain respons iklim, performa energi bangunan, pengelolaan sumber daya, dan *smart and healthy building*.

Lu dkk (2017) melakukan penelitian tentang BIM untuk bangunan hijau dari segi penelitian akademis dan praktik di industri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemilihan jurnal akademik, pemilihan perangkat lunak BIM dalam industri *architectural, engineering, and construction* (AEC), dan peninjauan pengembangan taksonomi *Green BIM triangle*. Jurnal akademik yang digunakan merupakan jurnal internasional yang berhubungan dengan BIM dan/atau *sustainable buildings* sehingga terkumpul 28 jurnal dari tahun 1999 hingga 2016. Selanjutnya, perangkat lunak BIM yang digunakan adalah *Vectorworks, Tekla Structures, Robot Structural Analysis, Revit MEP, MagiCAD, Synchro, Vico, BIM-Measure, Bentley Facilities, ArtrA, Green Building Studio, dan DesignBuilder*. Perangkat lunak yang digunakan berfokus pada tahap desain dan meliputi enam spesifikasi yang terbagi ke dalam pemakaian energi, emisi karbon, ventilasi alami, radiasi matahari dan pencahayaan, akustik, dan pemakaian air. Tahap selanjutnya adalah peninjauan pengembangan taksonomi *Green BIM triangle* pada Gambar II.1. *Green BIM triangle* adalah sebuah konsep yang menghubungkan BIM dan bangunan hijau yang kemudian disusun menjadi sebuah kerangka kerja. Dalam *Green BIM triangle* terdapat tiga komponen, yaitu *project phase, green attributes, dan BIM attributes* yang saling berhubungan satu sama lain sehingga ditemukan peran masing-masing komponen dalam pengaplikasian *Green BIM*. Hasil dari

penelitian ini adalah BIM dapat membantu proses sertifikasi bangunan hijau dalam tiga spesifikasi. Pertama, memilih strategi yang efektif untuk mendapatkan sertifikasi bangunan hijau. Kedua, BIM dapat membantu menafsirkan dan memperkirakan poin yang dapat diperoleh untuk berbagai perangkat penilaian. Ketika, BIM dapat memudahkan proses dokumentasi yang diperlukan dalam pendaftaran sertifikasi bangunan hijau. Namun, penelitian ini masih menemukan kendala yang diakibatkan oleh industri yang kurang menerima penggunaan BIM untuk bangunan hijau dan kurangnya studi literatur mengenai *Green BIM*.



Gambar II.1 Taksonomi Green BIM Triangle

(Sumber: Lu dkk (2017))

Ansah dkk (2019) melakukan penelitian tentang tantangan dalam pengaplikasian BIM dalam proses sertifikasi bangunan hijau. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah meta-analisis jurnal yang berhubungan dengan *Green BIM* dan seleksi perangkat lunak BIM. Perangkat lunak utama yang digunakan adalah *Autodesk Revit Architecture* dan *ArchiCad*. Perangkat penilaian bangunan hijau yang digunakan dalam penelitian ini adalah LEED, BREEAM, BEAM Plus, *Green*

Building Index (GBI), dan *Green Mark*. Perangkat lunak BIM dihubungkan dengan masing-masing perangkat lunak dan dihubungkan satu sama lain. Hasil dari penelitian ini adalah:

1. Kriteria penilaian yang dinilai dalam LEED adalah energi, material, dan sumber material yang didemonstrasikan menggunakan perangkat lunak Revit. Hasilnya adalah terdapat beberapa komponen penilaian yang rawan kesalahan.
2. Terdapat kemiripan antara LEED dan perangkat penilaian lain sehingga hasil yang diperoleh sama.
3. Perangkat lunak Revit dapat digunakan untuk integrasi antar perangkat lunak jika dimasukkan *plug-ins* yang telah dirancang sebelumnya dengan aplikasi IFC dan gbXML.
4. IFC dan gbXML dapat digunakan sebagai *database* untuk mengintegrasikan antar perangkat lunak.
5. Terdapat berbagai macam alat dan kriteria penilaian yang berbeda-beda sehingga dapat membantu berbagai macam penilaian namun di sisi lain juga memerlukan pengetahuan yang lebih luas.
6. BIM sangat bergantung pada data bangunan yang diberikan. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian dalam memasukkan data bangunan dari konvensional menjadi digital.

Tabel II.1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
1	A critical comparison of green building rating systems	Dat Tien Doan, Ali Ghaffarianhoseini, Nicola Naismith, Tongrui Zhang, Amirhosein Ghaffarianhoseini, John Tookey	Selandia Baru (2017)	Mengidentifikasi persamaan, perbedaan, kelebihan, dan kekurangan setiap perangkat penilaian.	BREEAM, LEED, CASBEE, <i>Green Star NZ</i>	Cara penilaian, Kriteria penilaian, Poin yang dapat diperoleh	Studi literatur dan Analisis	BREEAM, LEED, dan <i>Green Star NZ</i> memiliki banyak persamaan sedangkan CASBEE berdiri sendiri.

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
2	Green building evaluation system implementation	Zhikun Ding, Ze Fan, Vivian W.Y. Tam, Yu Bian, Shenghan Li, I.M. Chethana S. Illankoon, Sungkon Moon	Tiongkok (2018)	Mengevaluasi penerapan konsep bangunan hijau di Tiongkok	Proyek Shenzhen Vanke, Tiongkok	Penghematan lahan dan lingkungan luar ruangan, Penghematan energi, Penghematan air, Pemanfaatan material, Kualitas lingkungan dalam ruang, Manajemen operasional, dan Manajemen konstruksi	Wawancara, Survei, dan Observasi	Penerapan bangunan hijau hanya berfokus pada tahap desain dan konstruksi dan belum masuk ke tahap operasional

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
3	Key credit criteria among international green building rating tools	I.M. Chethana S. Illankoon, Vivian W.Y. Tam, Khoa N. Le, Liyin Shen	Australia (2017)	Menentukan kriteria dasar dari berbagai perangkat penilaian serta mengevaluasi kriteria tersebut	LEED, BREEAM, BEAM Plus, <i>Green Mark</i> , CASBEE, GBI, IGBC, dan <i>Green Star</i>	Tapak bangunan, Energi, Air, Kualitas lingkungan dalam ruang, Material, Limbah, dan Manajemen bangunan	Studi literatur dan Analisis	Kriteria yang paling banyak dibahas adalah energi, disusul dengan air dan kualitas lingkungan dalam ruang
4	A Digital Twin Evaluation of Net Zero Energy Building for Existing Buildings	Sakdirat Kaewunruen, Panrawee Rungskunroch, dan Joshua Welsh	Britania Raya (2018)	Mengevaluasi bangunan lama nZEB dalam aspek teknis dan finansial	<i>Hendeley Court</i> , Inggris	Termal, Energi, dan Biaya	Pemodelan dan Analisis	Masalah utama yang dapat menghambat penerapan konsep nZEB pada bangunan lama adalah sulitnya membangun

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
								sumber energi baru terbarukan
5	Grid interaction and environmental impact of a net zero energy building	G. Tumminia, F. Guarino, S. Longo, D. Aloisio, S. Cellura, F. Sergi, G. Brunaccini, V. Antonucci, M. Ferraro	Italia (2020)	Menganalisis dampak lingkungan yang diakibatkan oleh teknologi dalam penerapan konsep nZEB	Bangunan 1 lantai	Interaksi antar jaringan, Potensi pemanasan global, dan Alternatif sumber energi baru	Studi kasus, Perhitungan, dan Simulasi	Distribusi energi listrik dari <i>off-site</i> belum efisien sehingga memerlukan usaha yang lebih
6	Multi-objective optimization methodology for net zero	Fatima Harkouss. Farouk Fardoun, Pascal Henry Biwole	Lebanon (2017)	Menemukan desain bangunan yang dapat mengoptimalkan	Dua jenis apartemen di dua daerah yang berbeda	Peralatan listrik, spesifikasi bangunan, pemanfaatan	Studi literatur dan Simulasi bangunan	Desain dan material bangunan disesuaikan

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
	energy buildings			kinerja nZEB di Lebanon		ventilasi alami, dan pemakaian PV		dengan kondisi daerah masing-masing
7	An Examination of Factors Affecting Healthy Building An Empirical Study in East China	Peng Mao, Jiao Qi, Yongtao Tan, Jie Li	Tiongkok (2017)	Mengidentifikasi faktor yang berpengaruh dalam <i>healthy building</i> di Tiongkok Timur	Kriteria bangunan	Tahap desain, konstruksi, operasional, dan pembongkaran	Survei dan Analisis	Faktor yang berpengaruh adalah kesehatan bangunan, kesehatan lingkungan, dan kesehatan penghuni bangunan

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
8	9 Foundations of a Healthy Building	Joseph G. Allen, Ari Bernstein, Erika Sita Eitland, Skye Flanigan, Maia Gokhale, Julie M. Goodman, Skylar Klager, Lacey Klingensmith, Jose Guillermo Cedeno Laurent, Steven W. Lockley, Piers Macnaughton, Sepideh Pakpour, Jack D. Spengler, Jose Vallarino. Augusta Williams,	Amerika Serikat (2017)	Menemukan aspek dasar dalam <i>healthy building</i>	<i>Healthy building</i> secara umum	Aspek dalam bangunan yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia	Meta-analisis	Aspek dasar dalam <i>healthy building</i> terdiri dari ventilasi, kualitas udara, kualitas air, kesehatan termal, debu dan hama, pencahayaan dan pemandangan, kebisingan, kelembaban, dan keselamatan dan keamanan.

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
		Anna Young, Jie Yin						

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
9	Healthy Building Explanation	<i>Health and Environment Alliance (HEAL)</i>	Belgia (2020)	Mengetahui peran bangunan dalam kesehatan penghuni	Kondisi penghuni bangunan yang tinggal di dalam bangunan yang buruk	Penyakit yang ditimbulkan oleh kondisi bangunan yang buruk	Meta-analisis	Bangunan yang buruk dapat menyebabkan berbagai macam penyakit bagi penghuni dan juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan
10	A feasibility study of Building Information Modeling for Green Mark New Non-Residential	Ziwen Liu, Dr.Keyu Chen, Dr. Luke Peh, Dr. Kee Wee Tan	Singapura (2017)	Menguji kelayakan penggunaan BIM dalam membantu sertifikasi <i>Green Mark</i>	Kriteria penilaian dalam <i>Green Mark</i>	Standar, pedoman, dan kebijakan Green Building, alat dan proses penilaian, dan Green BIM lifecycle	Menyusun <i>framework</i> yang terbagi menjadi studi literatur dan penggunaan aplikasi BIM	Sebanyak 31 dari 78 poin dapat diselesaikan dengan bantuan BIM dan 47 poin lainnya tidak dapat diselesaikan

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
	Building (NRB) 2015 analysis							dengan bantuan BIM
11	Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions	Yujie Lu, Zhilei Wu, Ruidong Chang, Yongkui Li	Singapura (2017)	Menemukan hubungan antara BIM dan bangunan hijau	Kemampuan BIM	Pemakaian energi, emisi karbon, ventilasi alami, radiasi matahari dan pencahayaan, akustik, dan pemakaian air	Studi literatur dan Pemodelan	Taksonomi <i>Green BIM Triangle</i>

No.	Judul Penelitian	Penulis	Lokasi (Tahun)	Tujuan	Objek Penelitian	Variabel	Metode	Hasil dan Uraian
12	A review and outlook for integrated BIM application in green building assessment	Mark Kyeredey Ansah, Xi Chen, Hongxing Yang, Lin Lu, Patrick T.I. Lam	Hong Kong (2019)	Mengidentifikasi tantangan dalam pengaplikasian BIM dalam proses sertifikasi bangunan hijau	LEED, BREEAM, BEAM Plus, GBI, dan <i>Green Mark</i>	Kriteria penilaian pada masing-masing perangkat penilaian	Meta-analisis jurnal dan Seleksi perangkat lunak BIM	Diperlukan pengetahuan yang lebih tentang berbagai macam aplikasi BIM dan cara penggunaannya

(Sumber: Olahan Pribadi)

II.2 Berbagai Standar *Sustainable Buildings*

II.2.1 *Greenship*

Sebuah bangunan dapat dikategorikan sebagai bangunan hijau jika telah memenuhi kriteria bangunan hijau dan mendapatkan sertifikat dari lembaga sertifikasi resmi. Indonesia memiliki lembaga sertifikasi bangunan hijau yang disebut dengan *Green Building Council Indonesia* (GBCI). GBCI adalah lembaga mandiri yang menyusun dan menerbitkan sertifikasi bangunan hijau *Greenship*. Sertifikasi *Greenship* disusun dengan mempertimbangkan kondisi Indonesia dan peraturan yang berlaku di Indonesia. Berbagai ahli sektor konstruksi seperti industri bangunan, arsitek, desainer interior, teknisi mekanikal, terlibat dalam penyusunan *Greenship* sehingga sertifikasi ini dapat menilai bangunan secara menyeluruh dari berbagai spesifikasi (Idhar & Yuwono, 2019).

Terdapat dua tahap penilaian yang ditawarkan oleh sertifikasi ini. Pertama, tahap rekognisi desain (*Design Recognition- DR*) yang merupakan tahap dimana sertifikasi bangunan hijau hanya diberikan sementara untuk proses finalisasi desain dan perancangan berdasarkan peringkat *Greenship*. Tahap ini hanya dapat diterapkan pada bangunan yang masih direncanakan. Poin maksimum yang dapat diperoleh adalah 77 poin. Kedua, tahap penilaian akhir (*Final Assessment – FA*) yang merupakan proyek dinilai dari spesifikasi desain dan konstruksi. Tahap ini akan menentukan kinerja bangunan secara menyeluruh. Poin maksimum yang dapat diperoleh adalah 101 poin. Perbedaan poin dari tahap DR dan FA terdapat pada kategori Sumber dan Siklus Material, Kesehatan dan Kenyamanan Ruang, dan Manajemen Lingkungan Bangunan.

Indonesia memiliki 58 bangunan yang telah tersertifikasi bangunan hijau *Greenship* oleh GBCI pada tahun 2018. Hasil dari sertifikasi bangunan ini adalah berupa penghematan energi sebanyak 136.077.461 kWh/tahun, penghematan air sebanyak 1.220.545 m³/tahun, dan pengurangan emisi CO₂ sebanyak 121.244 ton/tahun. Contoh bangunan yang telah mendapatkan sertifikat *Greenship* di Indonesia adalah *Alamanda Tower*. *Alamanda Tower* mendapatkan sertifikasi bangunan hijau pada tahun 2018 dengan predikat platinum. Bangunan ini lebih banyak menggunakan pencahayaan alami dan air daur ulang yang dilakukan secara mandiri. Tapak bangunan ini juga menggunakan 80% lahan sebagai ruang terbuka hijau. Penggunaan refrigeran ramah lingkungan dan pengaturan ventilasi yang baik juga menjadi salah satu kriteria penilaian untuk mendapatkan predikat bangunan hijau. Selain *Alamanda*

Tower, terdapat beberapa bangunan yang sudah tersertifikasi bangunan hijau, seperti *DBS Tower*, Bandara Kulonprogo, dan Sekretariat ASEAN.



Gambar II.2 Alamanda Tower

(Sumber: <http://www.alamandatower.com/index.php?p=jakarta>)

Penilaian bangunan hijau pada sertifikasi *GreenShip* terbagi ke dalam enam kategori, yaitu:

1. Tepat Guna Lahan - *Appropriate Site Development (ASD)*

Penilaian dalam kategori tepat guna lahan mempertimbangkan ekologi dan mengikuti ilmu tata guna lahan sehingga bangunan diharapkan dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Kategori penilaian ini tidak hanya memfokuskan pada penggunaan lahan di lingkungan bangunan tapi juga secara tidak langsung mengajak pengguna bangunan untuk melestarikan lingkungan dengan menggunakan transportasi publik. Bangunan yang telah memenuhi kriteria dalam ASD akan mempunyai aksesibilitas ke transportasi umum dan fasilitas umum dengan mudah, penghuni bangunan menggunakan sepeda atau transportasi umum dalam mobilisasi sehari-hari, dan bangunan mempunyai ruang terbuka hijau yang rindang.

2. Konservasi Energi – *Energy Efficiency & Conservation (EEC)*

Penilaian dalam kategori konservasi energi mempertimbangkan energi yang digunakan dan penghematan energi yang dilakukan oleh pengelola bangunan. Pertimbangan dalam kategori ini tidak terbatas hanya pada konsumsi energi pada sebuah bangunan, namun juga memperhatikan dampak yang dihasilkan oleh konsumsi energi yang berlebihan. Energi yang dimaksud dalam kategori ini adalah energi panas, cahaya, dan kebisingan. Penghematan ketiga energi tersebut adalah tujuan akhir dari kategori konservasi energi. Bangunan yang memenuhi kriteria EEC akan menghemat energi dengan cara penggunaan energi terbarukan di dalam tapak bangunan dan pencahayaan alami. Bangunan juga akan memiliki ventilasi yang baik sehingga dapat menjaga kesehatan penghuni bangunan.

3. Konservasi Air – Water Conservation (WAC)

Pemanasan global yang terjadi berdampak pada siklus iklim dan cuaca di Indonesia. Kemarau berkepanjangan mengakibatkan kekurangan air di berbagai daerah di Indonesia. Ketersediaan air di Indonesia hanya digunakan sebanyak 23% (Idhar & Yuwono, 2019). Penggunaan air dengan cermat dan mendaur ulang air sehingga air dapat digunakan kembali merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan. Oleh sebab itu, *GreenShip* menyusun kriteria penilaian dalam kategori konservasi air dimana bangunan dituntut untuk menghemat penggunaan air dan mendaur ulang air. Bangunan yang memenuhi kriteria WAC akan menghemat penggunaan air karena bangunan dituntut untuk mendaur ulang air, menampung air hujan, menggunakan sumber alternatif lain, dan menerapkan strategi untuk mengefisienkan penggunaan air dalam tapak.

4. Sumber & Siklus Material – Material Resources & Cycle (MRC)

Kriteria penilaian dalam kategori sumber & siklus material meliputi penggunaan material dalam hal refrigeran dan material ramah lingkungan. Refrigeran merupakan bahan yang digunakan pada pendingin ruangan. Refrigeran yang mengandung halon, hidroklorofluorokarbon (HCFC), dan klorofluorokarbon (CFC) sangat berbahaya bagi lingkungan karena menyebabkan penipisan ozon dan memperparah pemanasan global. Oleh sebab itu, bangunan bersertifikasi bangunan hijau dituntut untuk tidak menggunakan refrigeran dengan ketiga bahan tersebut. Selain itu, bangunan hijau juga dituntut untuk mendaur ulang material dan menggunakan material yang ramah lingkungan. Bangunan juga dituntut untuk memakai material lokal dan prafabrikasi untuk mengurangi gas emisi akibat transportasi dan pabrik (Sulistiawan dkk, 2018).

5. Kesehatan dan Kenyamanan dalam Ruang – Indoor Health & Comfort (IHC)

Kesehatan dalam ruang berarti minimnya polutan kimia dalam ruangan tersebut. Polutan kimia yang berlebih dapat mempengaruhi kesehatan sehingga dapat menurunkan produktivitas pengguna bangunan. Kenyamanan dalam ruang terbagi menjadi kenyamanan visual, kenyamanan suhu udara, dan tingkat kebisingan. Kenyamanan dalam ruang berperan untuk memastikan ruang tersebut dapat ditempati dalam waktu yang cukup lama. Kriteria dalam kategori ini bertujuan untuk mencegah *Sick Building Syndrome* (SBS) yang dapat mempengaruhi kesehatan penghuni bangunan. Bangunan yang memenuhi kategori IHC akan menjadi bangunan yang nyaman bagi penghuninya meskipun penghuni berada di dalam bangunan dalam waktu yang lama.

6. Manajemen Lingkungan Bangunan – Building & Environment Management (BEM)

Kategori manajemen lingkungan bangunan berisi tentang komitmen pengelola gedung untuk menerapkan dan menjaga persyaratan bangunan hijau yang telah diterapkan. Secara garis besar, kategori ini merencanakan, mengorganisir, melaksanakan, dan mengawasi kriteria bangunan hijau pada sebuah bangunan. Manajemen bangunan dituntut untuk berkomitmen dalam pengelolaan limbah, pengontrolan polusi akibat konstruksi, dan melakukan survei kepada penghuni bangunan agar dapat mengetahui tingkat kenyamanan penghuni. Pengelolaan limbah dari bangunan dapat membantu proses pengelolaan di tempat pembuangan sementara (TPS) sehingga limbah dapat diproses lebih cepat. Pengelolaan limbah dapat berupa mengkategorikan limbah menjadi organik, anorganik, dan zat berbahaya (Regina dkk, 2020).

Setiap kategori pada sertifikasi *GreenShip* memiliki kriteria prasyarat, kriteria kredit, dan kriteria bonus. Kriteria prasyarat merupakan kriteria yang wajib dipenuhi sebelum melakukan penilaian terhadap kriteria lain. Kriteria prasyarat terdapat di setiap kategori. Kriteria prasyarat tidak memiliki poin seperti kriteria lainnya. Namun, jika kriteria prasyarat tidak terpenuhi, maka kriteria kredit dan kriteria bonus dalam semua kategori tidak dapat dinilai. Kriteria kredit merupakan kriteria yang ada di setiap kategori dan tidak wajib dipenuhi. Pemenuhan kriteria ini bergantung pada kondisi bangunan yang akan disertifikasi. Jika kriteria kredit dipenuhi maka bangunan tersebut akan mendapatkan poin. Jika tidak, maka bangunan tersebut tidak akan mendapatkan poin. Kriteria bonus merupakan kriteria tambahan yang tidak harus dipenuhi. Pemenuhan kriteria bonus cenderung sulit dan jarang terpenuhi. Poin kriteria bonus tidak mempengaruhi poin maksimum *GreenShip* namun tetap diperhitungkan jika dapat memenuhi kriteria bonus.

Poin yang diperoleh pada setiap kategori mempunyai peran penting dalam penentuan peringkat bangunan hijau. *Greenship* memiliki empat peringkat, yaitu perunggu, perak, emas, dan platinum. Peringkat perunggu memerlukan 35% poin dari poin maksimal, perak memerlukan 46% poin dari poin maksimal, emas memerlukan 57% poin dari poin maksimal, dan platinum memerlukan 73% poin dari poin maksimal.

Setiap kategori penilaian memiliki bobot poin pada setiap kategori dan poin maksimum yang berbeda sesuai dengan jenis bangunan. *Greenship* memiliki lima jenis bangunan yang dapat disertifikasi yaitu:

1. *Greenship* Bangunan Baru – *New Building* (NB) – 101 poin
2. *Greenship* Bangunan Terbangun – *Existing Building* (EB) – 117 poin
3. *Greenship* Ruang Dalam – *Interior Space* – 93 poin
4. *Greenship* Rumah Tinggal – *Homes* – 77 poin
5. *Greenship* Kawasan – *Neighborhood* – 124 poin

II.2.2 Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE)

International Finance Corporation (IFC) ingin mendorong pembangunan bangunan ramah lingkungan dengan cara mendanai pembangunan bangunan tersebut. Oleh karena itu, IFC menyusun sebuah perangkat penilaian yang berfokus pada penghematan energi dan pemakaian sumber energi baru terbarukan yang disebut dengan EDGE. EDGE dapat menghitung kinerja gedung berdasarkan prinsip-prinsip klimatologi, perpindahan panas, dan fisika bangunan sesuai dengan standar terkini (Putro & Yuwono, 2019). Selain itu, EDGE sangat mudah digunakan dan memiliki fitur simulasi proyek sehingga pemilik proyek dapat mengetahui perbedaan yang akan terjadi jika melakukan perubahan terhadap proyek tersebut. EDGE dapat digunakan untuk berbagai jenis bangunan seperti rumah, bangunan komersial, rumah sakit, perkantoran, hingga bangunan pendidikan.

EDGE memiliki tiga macam penilaian, yaitu:

1. *EDGE Certified*

Penilaian ini merupakan penilaian dasar untuk mendapatkan sertifikasi EDGE. Dalam mendapatkan predikat *EDGE Certified*, bangunan harus menghemat minimal 20% dalam

hal penggunaan energi listrik, air, dan material. Predikat ini tidak memerlukan kajian ulang dan pembaharuan predikat.

2. *EDGE Advanced*

Penilaian ini merupakan penilaian lanjutan dari *EDGE Certified* dimana sebuah bangunan harus memenuhi kriteria dalam *EDGE Certified* dan menghemat minimal 40% pemakaian energi listrik dalam tapak. Jika bangunan mendapatkan predikat *EDGE Advanced*, maka bangunan dapat dimasukkan dalam nominasi *sustainable building* untuk mendapatkan penghargaan. Predikat ini tidak memerlukan kajian ulang dan pembaharuan predikat.

3. *Zero Carbon*

Penilaian ini merupakan penilaian untuk mendapatkan predikat sebagai *net zero energy building* (nZEB). Terdapat tiga kriteria penilaian untuk mendapatkan predikat ini, yaitu:

- a. Bangunan telah mendapatkan predikat *EDGE Advanced*.
- b. Bangunan tersebut menggunakan energi yang dihasilkan secara mandiri menggunakan sumber energi baru terbarukan, baik *on-site* maupun *off-site*. Salah satu contoh metode penghasilan energi secara mandiri adalah penggunaan *solar photovoltaic (PV) cells* atau yang lebih dikenal dengan panel surya. Penggunaan panel surya dianggap dapat menjadi strategi pengaplikasian energi baru terbarukan yang menjanjikan (Sampaio & Gonzalez, 2017).
- c. Seluruh energi harus dihitung, termasuk penggunaan diesel dan *liquified petroleum gas* (LPG).

Setelah mendapatkan predikat nZEB, pemilik bangunan harus melakukan pembaharuan predikat setiap empat tahun sekali.

Pada tahun 2018, GBCI melaporkan terdapat 24 bangunan yang mendapatkan predikat *EDGE Certified* di Indonesia. Contoh bangunan yang telah memiliki predikat *EDGE Certified* adalah Hotel *The 101* yang berada di Yogyakarta. Hotel ini menghemat pemakaian energi listrik sebanyak 62%, penghematan air sebanyak 22%, dan 43% untuk penghematan material. Contoh lain bangunan di Indonesia yang mendapatkan predikat *EDGE Certified* adalah Hotel *The 101* Bogor dan *Ecoloft* Jababeka. Saat ini belum ada bangunan yang mendapatkan predikat nZEB di Indonesia.



Gambar II.3 Hotel *The 101* Yogyakarta

(Sumber: <https://edgebuildings.com/project-studies/the-101-yogyakarta-tugu/>)

Kriteria penilaian EDGE sangat mendukung konsep *Net Zero Energy Building* (nZEB) dimana sebuah bangunan dituntut untuk menghasilkan energi secara mandiri menggunakan sumber energi baru terbarukan. Penerapan konsep nZEB dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang dapat memperburuk pemanasan global.

II.2.3 WELL *Building Standard*

Pada tahun 2014, *The International WELL Building Institute* (IWBI) meluncurkan sebuah perangkat penilaian yang berfokus pada kenyamanan dan kesehatan penghuni bangunan. Perangkat penilaian tersebut adalah WELL. WELL terbagi menjadi dua jenis, yaitu WELL v.1 dan WELL *Health-Safety Rating*. WELL v.1 berfokus pada penilaian bangunan secara menyeluruh dan mempertimbangkan seluruh spesifikasi yang dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan. Sedangkan WELL *Health-Safety Rating* merupakan ringkasan dari WELL v.1 yang hanya berfokus pada poin-poin utama tanpa memperhatikan detail. Penilaian ini baru disusun dikarenakan pandemi COVID-19 sehingga bangunan yang mendapatkan sertifikasi WELL *Health-Safety* dianggap aman digunakan. Saat ini belum ada bangunan yang tersertifikasi sebagai *healthy building* di Indonesia.

WELL v.1 terdiri dari 100 kriteria penilaian yang terbagi ke dalam tujuh kategori, yaitu:

1. Udara - *Air*

Kategori udara bertujuan untuk meningkatkan kualitas udara dengan cara meminimalisir polusi udara dalam ruang sehingga penghuni bangunan tetap sehat. Kualitas udara yang buruk dapat

menimbulkan berbagai jenis penyakit seperti mual, sakit kepala, asma, iritasi pernapasan, alergi, dan penyakit pernapasan lainnya. Penilaian di kategori ini menilai kualitas udara dalam ruang, penggunaan ventilasi alami, pengurangan penggunaan *Volatile Organic Compounds* (VOCs), pengontrolan kadar mikroba dan jamur dalam ruang, protokol kebersihan, pengontrolan kelembapan udara, dan lain sebagainya. Optimalisasi desain bangunan dianggap dapat mengurangi kontaminasi udara dalam ruang sehingga dapat mencegah SBS. Selain itu, WELL juga mewajibkan pemurnian udara dengan cara memasang filter karbon dan HEPA filter untuk menjamin kualitas udara dalam ruang. Pemurnian udara sangat penting karena udara yang berasal dari luar belum tentu memiliki kualitas yang baik mengingat banyaknya polusi udara. Menurut HEAL (2017), kualitas udara dalam ruang yang buruk dapat menurunkan produktivitas penghuni bangunan sebanyak 6-9% dan menyebabkan kematian sebanyak dua juta orang setiap tahunnya di *European Union* (EU). Oleh karena itu, kategori udara merupakan kategori yang sangat diperhatikan dan memegang poin paling tinggi di WELL.

2. Air – *Water*

Air di dalam kategori ini dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu air yang berasal dari luar tapak, air untuk keperluan kebersihan, dan air minum. Penilaian kriteria di dalam kategori air berfokus pada air bersih, terutama air minum. Kriteria air dalam WELL bertujuan untuk meningkatkan kuantitas air bersih dengan cara mengimplementasi teknik filtrasi air dan memantau kualitas air secara berkala agar penghuni bangunan mendapatkan kualitas air yang layak. Kualitas air dinilai berdasarkan pengendapan air, kandungan mikroba dalam air, polutan anorganik, polutan organik, polutan agrikultural, dan zat aditif dalam air publik. Zat aditif yang ditambahkan pada air berfungsi untuk membunuh mikroba yang menyebabkan penyakit pencernaan, namun dapat menyebabkan penyakit lain jika digunakan secara berlebihan. Kualitas air yang buruk dapat menyebabkan gangguan pencernaan dan penurunan imun. Kategori ini menilai tentang kualitas air, kandungan dalam air, pengelolaan air, dan kualitas air minum. Dalam menjaga kualitas air dalam bangunan, WELL mewajibkan pengelola bangunan untuk melakukan pemeriksaan secara berkala dan melaporkan kepada IWBI setiap tahun. Tujuan kategori ini tidak hanya untuk menjamin ketersediaan air bersih, namun juga untuk mengurangi pemakaian air minum sekali pakai sehingga dapat mengurangi limbah plastik secara bersamaan.

3. Nutrisi – *Nourishment*

Penilaian kriteria di dalam kategori nutrisi berfokus pada penyediaan makanan sehat dan segar sehingga meningkatkan kesadaran penghuni bangunan untuk mengonsumsi makanan sehat dan menghindari makanan olahan seperti *junk food*. Nutrisi memegang peran penting dalam

menjaga kesehatan tubuh, menjaga berat badan, dan menghindari penyakit kronis. Mengonsumsi makanan olahan secara rutin dapat menyebabkan komplikasi jantung, masalah pencernaan, dan penurunan imunitas. Penilaian dalam kategori ini berfokus tentang porsi makanan, kualitas bahan makanan, informasi nutrisi makanan, penyimpanan makanan, dan pengelolaan makanan. Jenis makanan yang diharapkan dapat disediakan oleh pengelola bangunan adalah makanan yang memiliki kadar gula yang rendah, berasal dari bahan organik, memiliki gizi seimbang, dan mengurangi makanan yang memiliki lemak trans yang tinggi. Selain itu, pengelola bangunan diharapkan untuk selalu mencantumkan label yang berisikan tentang bahan makanan dan informasi nutrisi sehingga penghuni dapat menghindari makanan yang dapat memicu alergi. Penerapan kategori ini diharapkan dapat mendorong penghuni bangunan untuk memilih makanan sehat sehingga dapat menghindari obesitas.

4. Pencahayaan – *Light*

Kategori pencahayaan bertujuan untuk menyediakan tingkat pencahayaan yang cukup sehingga dapat meningkatkan produktivitas penghuni bangunan. Saat ini terdapat berbagai macam jenis peralatan pencahayaan yang disesuaikan berdasarkan keperluan dan ruangan. Pencahayaan sangat berpengaruh dalam mengatur jam internal dalam tubuh yang mengatur fungsi setiap organ selama 24 jam penuh atau yang disebut dengan *circadian system*. Oleh karena itu, diperlukan sistem pencahayaan yang berbeda pada siang dan malam hari. Tingkat pencahayaan yang buruk dapat menyebabkan gangguan kardiovaskular, pencernaan, imunitas, otot, dan komplikasi lainnya. Dalam kategori ini, penilaian yang dilakukan adalah tentang desain cahaya visual, pemodelan cahaya alami, pengontrolan kesilauan, kualitas warna cahaya, dan lain sebagainya. Pencahayaan dalam kategori ini terbagi menjadi empat spesifikasi yaitu, pemanfaatan pencahayaan alami, pengontrolan cahaya, desain cahaya *circadian*, dan pencahayaan luar ruangan. Kemudian, cahaya diatur berdasarkan warna cahaya dan tingkat pencahayaan. Kategori ini sangat mendukung pemanfaatan pencahayaan alami secara maksimal sebelum menggunakan pencahayaan buatan. Kategori ini juga menyediakan kriteria desain *wall-to-wall ratio* (WWR) untuk menghindari cahaya alami berlebih yang dapat menyebabkan silau dan panas berlebih dalam ruang, terutama di musim-musim tertentu.

5. Kebugaran Tubuh – *Fitness*

Kategori kebugaran tubuh bertujuan untuk meningkatkan aktivitas fisik dalam kehidupan sehari-hari dengan cara memberikan fasilitas yang mendukung aktivitas fisik dan meminimalisir kebiasaan hidup sedentari. Selain itu, pengelola bangunan diharapkan menyusun jadwal olahraga bersama secara rutin. Berbagai ahli kesehatan menyarankan setiap orang untuk melakukan olahraga minimal 30 menit selama lima hari atau setara dengan 150

menit seminggu. Olahraga yang dianjurkan adalah *cardio* dan/atau latihan ketahanan. Contoh olahraga yang dapat dilakukan adalah lari, berenang, bersepeda, dan angkat beban. Kebiasaan hidup sedentari dapat menyebabkan gangguan kardiovaskular, otot, tulang, pencernaan, dan lain sebagainya. Kriteria ini menilai tentang program aktivitas fisik, peralatan *fitness*, ruang aktivitas fisik, desain aktif eksterior, transportasi aktif, dan lain sebagainya. WELL menghitung rasio perbandingan antara jumlah peralatan dan jumlah penghuni bangunan sehingga fasilitas kebugaran dapat digunakan dengan maksimal. Fasilitas kebugaran di bangunan terdiri dari fasilitas dalam ruang dan luar ruang. Hal ini dilakukan untuk mendorong penghuni bangunan melakukan aktivitas di luar ruang lebih banyak. Selain fasilitas bangunan, WELL juga mengatur rasio jumlah tempat parkir sepeda dalam bangunan.

6. Kenyamanan – *Comfort*

Kategori kenyamanan bertujuan untuk menciptakan desain bangunan yang bebas dari gangguan, produktif, dan mempunyai lingkungan dalam ruang yang nyaman. Kategori ini mencakup kenyamanan penghuni, akustik, dan termal. Kenyamanan penghuni berfokus pada pemilihan furnitur dalam ruang sehingga dapat mengurangi penyakit fisik dan pengontrolan aroma dalam ruang. Kenyamanan akustik terbagi menjadi empat spesifikasi, yaitu gangguan kebisingan dalam ruang, kebisingan dalam ruang, waktu gema, dan penghalang suara. Tingkat kebisingan dapat mempengaruhi tekanan darah yang dapat menyebabkan berbagai penyakit jantung dan darah tinggi. Selain itu, tingkat kebisingan di bawah 50dB dapat meningkatkan produktivitas penghuni bangunan. Kenyamanan termal terbagi menjadi tiga spesifikasi, yaitu kenyamanan termal dalam ruang, pengontrolan termal secara independen, dan kenyamanan *radian heat*. Suhu dalam ruang yang terlalu rendah dapat menyebabkan darah rendah dan kegelisahan, sedangkan suhu dalam ruang yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan menyebabkan stres dan penurunan produktivitas. Secara keseluruhan, kenyamanan ruang dapat mempengaruhi kesehatan tulang, jantung, sistem imun, pernapasan, hingga sistem saraf.

7. Kesehatan Jiwa - *Mind*

Kategori kesehatan jiwa bertujuan untuk menciptakan sebuah lingkungan fisik yang dapat mengoptimalkan kesehatan kognitif dan jiwa. Berada di dalam ruang dalam waktu yang lama dapat menyebabkan stres yang dapat mempengaruhi kesehatan fisik dan jiwa. Jika kesehatan fisik dapat disembuhkan dengan cara meminum obat atau bahkan hanya dibiarkan, kesehatan jiwa memerlukan perhatian khusus. Saat ini, paling tidak 16 juta jiwa di Amerika Serikat mengalami depresi akut. Kesehatan jiwa sangat penting dalam meningkatkan produktivitas dan imun individu. Penderita penyakit jiwa memiliki harapan hidup 10 tahun lebih pendek daripada orang normal. Penilaian yang dilakukan dalam kategori ini adalah mengenai kesadaran akan

kesehatan dan kebugaran, *adaptable space*, dukungan keluarga, dan lain sebagainya. Desain bangunan juga dapat mempengaruhi kesehatan jiwa. Lingkungan kerja dan tinggal yang baik dapat membangun kondisi mental yang sehat sehingga dapat mengurangi kemungkinan penghuni bangunan terjangkit penyakit jiwa. Desain bangunan yang estetis dapat meningkatkan suasana hati dan kenyamanan penghuni bangunan.

II.2.4 Kriteria Desain menurut Standar *Greenship*, EDGE, dan WELL

Setelah melihat masing-masing kriteria desain perangkat penilaian *Greenship*, EDGE, dan WELL didapat hasil sebagai berikut:

1. Dari 67 kriteria *Greenship*, ditemukan 6 kriteria yang sama dengan kriteria dalam EDGE.
2. Dari 67 kriteria *Greenship*, ditemukan 16 kriteria yang sama dengan kriteria dalam WELL.
3. Terdapat 3 kriteria yang sama antara standar *Greenship*, EDGE, dan WELL.

Persamaan dan perbedaan masing-masing kriteria secara detail dapat dilihat pada Tabel II.2 di bawah.

Tabel II.2 Kriteria Desain antara *Greenship*, EDGE, dan WELL

No.	Kriteria Penilaian	<i>Greenship</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
1	Area lanskap	✓		
2	Vegetasi lokal	✓		
3	Prasarana Sarana Kota	✓		
4	Daerah pembangunan dengan ketentuan KLB>3	✓		
5	Revitalisasi dan pembangunan di atas lahan yang bernilai negatif	✓		
6	Terdapat fasilitas umum dalam <i>walking distance</i>	✓		
7	Akses pejalan kaki selain ke jalan utama di luar tapak yang menghubungkannya dengan jalan sekunder dan/atau lahan milik orang lain	✓		
8	Fasilitas/akses yang aman, nyaman, dan bebas dari perpotongan dengan akses kendaraan bermotor	✓		

No.	Kriteria Penilaian	<i>GreenShip</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
9	Membuka lantai dasar gedung sehingga dapat menjadi akses pejalan kaki yang aman dan nyaman	✓		
10	Adanya halte atau stasiun transportasi umum dalam <i>walking distance</i>	✓		
11	Menyediakan shuttle bus untuk pengguna tetap gedung	✓		
12	Menyediakan fasilitas jalur pedestrian di dalam area gedung untuk menuju ke stasiun transportasi umum terdekat yang aman dan nyaman	✓		
13	Adanya tempat parkir sepeda yang aman	✓		
14	Adanya <i>shower</i>	✓		
15	Menggunakan berbagai material untuk menghindari efek heat island pada area atap gedung	✓		
16	Menggunakan <i>green roof</i>	✓		
17	Menggunakan berbagai material untuk menghindari efek heat island pada area perkerasan non-atap	✓		
18	Desain lanskap berupa vegetasi pada sirkulasi utama pejalan kaki menunjukkan adanya pelindung dari terpaan angin kencang.	✓		
19	Pengurangan beban volume limpasan air hujan ke jaringan drainase kota dari lokasi bangunan	✓		
20	Menunjukkan adanya upaya penanganan pengurangan beban banjir lingkungan dari luar lokasi bangunan.	✓		
21	Menggunakan teknologi-teknologi yang dapat mengurangi debit limpasan air hujan.	✓		
22	Memasang kWh meter untuk mengukur konsumsi listrik pada setiap kelompok beban dan sistem peralatan	✓	✓	

No.	Kriteria Penilaian	GreenShip NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
23	Menghitung OTTV	✓		
24	Menghitung konsumsi energi di gedung <i>baseline</i> dan gedung <i>designed</i>	✓	✓	
25	Penggunaan cahaya alami secara optimal	✓		✓
26	Tidak mengondisikan (tidak memberi AC) ruang WC, tangga, koridor, dan lobi lift, serta melengkapi ruangan tersebut dengan ventilasi alami ataupun mekanik	✓		✓
27	Menyerahkan perhitungan pengurangan emisi CO2	✓	✓	✓
28	Menggunakan sumber energi baru dan terbarukan	✓	✓	
29	Pemasangan alat meteran air (volume meter) yang ditempatkan di lokasi-lokasi tertentu pada sistem distribusi air	✓		
30	Menghitung penggunaan air	✓	✓	✓
31	Penghematan penggunaan air	✓	✓	✓
32	Penggunaan fitur air yang sesuai dengan kapasitas buangan di bawah standar maksimum kemampuan alat keluaran air	✓		
33	Penggunaan seluruh air bekas pakai yang telah di daur ulang	✓		✓
34	Menggunakan teknologi yang memanfaatkan air laut atau air danau atau air sungai untuk keperluan air bersih sebagai sanitasi, irigasi dan kebutuhan lainnya	✓		
35	Menyediakan instalasi tangki penampungan air hujan	✓		
36	Seluruh air yang digunakan untuk irigasi gedung tidak berasal dari sumber air tanah dan/atau PDAM	✓		

No.	Kriteria Penilaian	<i>GreenShip</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
37	Menerapkan teknologi yang inovatif untuk irigasi yang dapat mengontrol kebutuhan air untuk lanskap yang tepat, sesuai dengan kebutuhan tanaman	✓		
38	Tidak menggunakan <i>chloro fluoro-carbon</i> (CFC) sebagai refrigeran dan halon sebagai bahan pemadam kebakaran	✓		
39	Menggunakan kembali material bekas	✓		
40	Menggunakan material yang memiliki sertifikat sistem manajemen lingkungan pada proses produksinya	✓		
41	Menggunakan material yang merupakan hasil proses daur ulang	✓		
42	Menggunakan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya terbarukan dengan masa panen jangka pendek	✓		
43	Tidak menggunakan bahan perusak ozon pada seluruh sistem pendingin gedung	✓		
44	Menggunakan bahan material kayu yang bersertifikat legal	✓		
45	Desain yang menggunakan material modular atau prafabrikasi (tidak termasuk <i>equipment</i>)	✓		
46	Menggunakan material lokal	✓		
47	Desain ruangan yang menunjukkan adanya potensi introduksi udara luar	✓		✓
48	Memantau konsentrasi karbon dioksida	✓		✓
49	Memasang tanda “Dilarang Merokok di Seluruh Area Gedung” dan tidak menyediakan bangunan/area khusus untuk merokok di dalam gedung	✓		✓
50	Menggunakan cat dan <i>coating</i> yang mengandung kadar <i>volatile organic compounds</i> (VOCs) rendah	✓		✓

No.	Kriteria Penilaian	<i>GreenShip</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
51	Menggunakan produk kayu komposit dan <i>laminating adhesive</i> dengan syarat memiliki kadar emisi formaldehida rendah	✓		✓
52	Menggunakan material lampu yang kandungan merkurnya pada toleransi tertentu dan tidak menggunakan material yang mengandung asbestos	✓		✓
53	<i>net lettable area</i> (NLA) menghadap langsung ke pemandangan luar yang dibatasi bukaan transparan bila ditarik suatu garis lurus	✓		✓
54	Kenyamanan termal	✓		✓
55	Kenyamanan visual	✓		✓
56	Tingkat kebisingan	✓		✓
57	Adanya instalasi atau fasilitas untuk memilah dan mengumpulkan sampah sejenis sampah rumah tangga	✓		
58	Melibatkan tenaga ahli yang sudah bersertifikat	✓		
59	Memiliki rencana manajemen sampah konstruksi	✓		
60	Mengolah limbah organik gedung	✓		
61	Mengolah limbah anorganik gedung	✓		
62	Melakukan prosedur <i>testing- commissioning</i>	✓		
63	Memastikan seluruh <i>measuring adjusting instrument</i> telah terpasang pada saat konstruksi dan memperhatikan kesesuaian antara desain dan spesifikasi teknis terkait komponen <i>proper commissioning</i>	✓		
64	Menyerahkan data implementasi <i>green building</i>	✓		
65	Memberi pernyataan bahwa pemilik gedung akan menyerahkan data implementasi <i>green building</i>	✓		

No.	Kriteria Penilaian	<i>GreenShip</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
66	Mengimplementasikan prinsip <i>green building</i> saat <i>fit out</i> gedung	✓		
67	Mengukur kenyamanan pengguna gedung melalui survei yang baku terhadap pengaruh desain dan sistem pengoperasian gedung	✓		
68	Filtrasi udara			✓
69	Pengontrolan mikroba dan hama			✓
70	Manajemen polusi akibat konstruksi			✓
71	Pintu masuk yang sehat			✓
72	Protokol kebersihan			✓
73	Manajemen pestisida			✓
74	Pengurangan material yang mengandung bahan beracun			✓
75	Meningkatkan keamanan material			✓
76	Pengontrolan kontaminan organik dan anorganik			✓
77	Pemeriksaan kualitas air secara berkala			✓
78	Pengadaan buah dan sayur			✓
79	Pengurangan konsumsi makanan cepat saji			✓
80	Menginformasikan kandungan nutrisi pada makanan yang disediakan			✓
81	Produksi makanan dengan protokol kesehatan			✓
82	Pengontrolan ukuran porsi makanan			✓
83	Penyimpanan bahan baku makanan			✓
84	Pengontrolan cahaya matahari langsung			✓
85	<i>Shading</i> otomatis			✓
86	Pemodelan cahaya matahari			✓
87	Penyediaan sarana olahraga dalam ruang dan luar ruang			✓
88	Penyusunan jadwal olahraga bersama			✓
89	Desain yang aksesibel			✓

No.	Kriteria Penilaian	<i>GreenShip</i> NB ver.1.1	EDGE	WELL ver.1
90	Pengontrolan gangguan bising dari luar ruang			✓
91	Pengadaan permukaan yang dapat mengurangi kebisingan dalam ruang			✓
92	<i>Self-monitoring</i>			✓
93	Pembuatan ruangan yang dapat beradaptasi			✓
94	Tempat kerja yang ramah keluarga			✓
95	Pengobatan kecanduan dan sesi terapi			✓

(Sumber: Olahan Pribadi)

II.3 Aplikasi BIM Dalam Penilaian Bangunan Berkelanjutan

Building Information Modelling (BIM) merupakan sebuah teknologi yang dapat mengumpulkan, menyimpan, dan menggunakan data sebuah bangunan untuk dianalisis. Peran BIM terbagi menjadi 5 dimensi (Ansah dkk, 2019), yaitu:

- a. Tiga dimensi (3D), berperan untuk menghasilkan desain 3D sehingga seluruh *stakeholders* dapat melihat bentuk asli bangunan serta mengetahui jika terdapat penumpukan sistem mekanikal, elektrik, atau saluran air. BIM juga dapat mengestimasi jenis dan jumlah kebutuhan material yang diperlukan dalam membangun sebuah bangunan.
- b. Empat Dimensi (4D), berperan untuk menghasilkan estimasi waktu yang diperlukan untuk membangun sebuah bangunan serta memberikan jadwal per pekerjaan sesuai dengan metode konstruksi yang telah direncanakan.
- c. Lima Dimensi (5D), berperan untuk menghasilkan estimasi biaya yang diperlukan dalam sebuah proyek.
- d. Enam Dimensi (6D), berperan dalam mengestimasi penggunaan energi dalam sebuah bangunan, melacak penggunaan material ramah lingkungan, dan membantu proses sertifikasi bangunan berkelanjutan.
- e. Tujuh Dimensi (7D), berperan dalam memantau pemeliharaan fasilitas bangunan sehingga jika terjadi masalah, pengelola bangunan dapat mendeteksi masalah secara cepat dan tepat. Dalam dimensi ini, BIM juga dapat menganalisis siklus hidup bangunan.

Dalam penerapannya, BIM terbukti dapat meningkatkan efisiensi sebuah proyek karena manajemen biaya, mutu, dan baik (Ma dkk, 2018). Selain itu, BIM juga dapat mempermudah kolaborasi dan meminimalkan miskomunikasi antar *stakeholder*. Dalam proses desain, BIM

berperan untuk memberikan pemodelan 3D dan pertukaran informasi antar *stakeholder*. Pada proses perencanaan teknis, BIM dapat menghasilkan perencanaan biaya, waktu, dan *bill of quantity* (BoQ) dalam satu aplikasi yang sama. BIM dapat membantu proses konstruksi dalam hal berkomunikasi dan memastikan proyek berjalan sesuai dengan rencana. Semua perubahan yang terjadi pada tahap desain, perencanaan teknis, dan konstruksi dapat langsung terintegrasi ke semua *stakeholder* sehingga memudahkan komunikasi satu sama lain. Pada tahap operasional, BIM dapat memudahkan pelacakan informasi dan memantau kondisi bangunan karena seluruh data tersedia secara digital. Dari berbagai tahapan konstruksi, peran BIM secara keseluruhan berpangku pada komunikasi dan pertukaran informasi, baik antar *stakeholders* maupun antar aplikasi yang digunakan. Oleh karena itu, BIM mulai digunakan di berbagai perusahaan dalam industri konstruksi untuk membantu proses perencanaan hingga operasional. Keuntungan yang dapat diperoleh dari perusahaan yang menerapkan BIM adalah mendeteksi konflik pada tahap desain, mengurangi limbah material, menghindari pekerjaan ulang, menghemat sumber daya manusia, dan menyederhanakan dokumentasi proyek (Mieslenna, 2019).

Pada dimensi keenam, BIM dapat membantu proses sertifikasi bangunan berkelanjutan sehingga disebut *BIM for Sustainability* (Wu, 2010). Perangkat penilaian dihubungkan dengan aplikasi pendukung BIM sehingga konsultan perencana dapat mengidentifikasi kriteria yang dapat dipenuhi oleh sebuah bangunan. Hal ini dapat mempersingkat waktu, menghemat biaya, dan mengetahui peringkat sertifikasi yang dapat diperoleh sejak tahap pra konstruksi (Liu dkk, 2017). Pada tahap konstruksi bangunan berkelanjutan, BIM dapat dimanfaatkan untuk memantau jalannya konstruksi sehingga proses konstruksi termasuk dalam kategori *green construction*. Perangkat penilaian LEED merupakan salah satu perangkat penilaian yang mewajibkan adanya *green construction* jika bangunan tersebut ingin mendapatkan sertifikasi LEED.

BIM tidak hanya dapat membantu proses sertifikasi bangunan hijau, namun juga dapat menyimulasikan penggunaan energi sebuah bangunan. Selain itu, BIM juga dapat memberikan simulasi sebelum dan sesudah bangunan menerapkan konsep nZEB sehingga memudahkan pengelola bangunan untuk mengajukan sertifikasi. BIM menggunakan berbagai macam data bangunan, seperti material dinding, jenis kaca jendela, jenis atap, dan lain sebagainya sehingga simulasi yang diberikan akurat. Wu (2010) melakukan penelitian tentang aplikasi untuk simulasi energi dalam bangunan. Penelitian dilakukan dengan menghubungkan dua jenis

aplikasi BIM, yaitu *Green Building Studio* dan *Autodesk Revit* sehingga data yang diperlukan untuk simulasi tidak dimasukkan secara manual, namun secara otomatis melalui data yang sudah terdapat di *Autodesk Revit*.

Dalam menggunakan BIM untuk membantu proses sertifikasi bangunan berkelanjutan, diperlukan tolok ukur untuk mengetahui efektivitas BIM dalam membantu proses sertifikasi bangunan berkelanjutan. Selain itu, analisis tentang persyaratan dalam setiap peringkat penilaian juga diperlukan.

