

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Green Building*

Bangunan hijau modern umumnya didefinisikan sebagai konstruksi yang dapat memaksimalkan efisiensi sumber daya termasuk energi, tanah, air, material dan mengurangi beban lingkungan di seluruh siklus hidup bangunan mulai dari produksi material hingga perencanaan dan desain konstruksi hingga operasi, dan bahkan pembongkaran (Kementrian PUPR, 2024). Bangunan hijau selalu selaras dengan alam disertai serangkaian teknologi hemat sumber daya, seperti ventilasi alami, pencahayaan alami, struktur selubung bangunan rendah karbon, pemanfaatan energi terbarukan, daur ulang dan penggunaan kembali air, bahan bangunan hijau, dsb. Oleh karena itu, bangunan hijau saat ini dilengkapi dengan beberapa karakteristik perencanaan seperti daur ulang yang efisien dari sumber daya, hemat energi yang komprehensif dan efektif untuk mencapai pengurangan emisi, lingkungan bangunan yang sehat, nyaman, fleksibel dan sesuai fungsi bangunan (Qian, Yang, 2018).

Green building adalah bangunan hijau dirancang untuk mengurangi dampak keseluruhan lingkungan binaan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan alam dengan penggunaan energi, air, dan sumber daya lainnya secara efisien, melindungi kesehatan penghuni dan meningkatkan produktivitas pengguna gedung serta mengurangi limbah, polusi, dan degradasi lingkungan (US EPA, 2014).

Menurut Green Building Council Indonesia GBCI, (2013), *green building* adalah bangunan yang dimana sejak awal mulai dalam tahap perencanaan, pembangunan, pengoperasian hingga dalam operasional pemeliharaannya memperlihatkan dan memperhatikan aspek-aspek dalam melindungi, menghemat, mengurangi penggunaan sumber daya alam, menjaga kualitas mutu udara di ruangan, dan memprioritaskan kesehatan penghuninya yang semuanya berpegang pada kaidah pembangunan yang berkelanjutan.

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan Bab I Pasal 1, bangunan ramah lingkungan (*green building*) adalah suatu bangunan yang menerapkan prinsip lingkungan dalam perancangan, pembangunan, pengoperasian, dan pengelolaannya dan aspek penting penanganan dampak perubahan iklim. Prinsip lingkungan yang dimaksud adalah prinsip yang mengedepankan dan memperhatikan unsur pelestarian fungsi lingkungan. Dalam peraturan ini juga dijelaskan pada Pasal 1 ayat 2 yang dimaksud prinsip lingkungan adalah prinsip yang

mengedepankan dan memperhatikan unsur pelestarian fungsi lingkungan. Penentuan kelayakan dari bangunan hijau dapat ditinjau dari ruang lingkup berdasarkan Pasal 3 Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, meliputi:

1. Kriteria bangunan ramah lingkungan;
2. Sertifikasi bangunan ramah lingkungan; dan
3. Registrasi lembaga sertifikasi bangunan ramah lingkungan.

Selain menurut Greenship untuk Bangunan Baru, (2013) persyaratan kelayakan penilaian bangunan gedung hijau untuk luas minimum bangunan yang disyaratkan yaitu 2500 m². Penerapan konsep *green building* pada bangunan dianggap menjadi penting oleh pemerintah dalam mengaturnya. Peraturan Menteri PUPR Nomor 02/PRT/M/2015 tentang Bangunan Gedung Hijau menegaskan kesungguhannya untuk memperhatikan kepentingan lingkungan hidup melalui pengaturan rancang bangun bangunan gedung. Hal ini dapat dikaitkan dengan tiga lingkup *green building* antara lain sebagai berikut (Wonohardjo dan Sutjahja, 2018):

1. Penyelenggaraan bangunan gedung tidak mengotori lingkungannya dengan emisi gas buang, limbah cair dan padat yang tidak dapat diolah oleh alam. Segala lepasan ke alam yang tidak dapat diolah akan menjadi polutan bagi lingkungan dan mengganggu kehidupan di dalamnya.
2. Penyelenggaraan bangunan gedung tidak mengubah sifat-sifat alami lingkungannya sehingga menimbulkan ketidakseimbangan lingkungan yang membahayakan kehidupan di dalamnya.
3. Penyelenggara bangunan gedung tidak mengambil sumber daya alam termasuk sumber energi secara berlebihan sehingga mengganggu keseimbangan alam dan membahayakan kehidupan di dalamnya.

Menurut Nassir (2016) *green building* adalah bangunan yang sejak perencanaan, pembangunan dalam masa konstruksi dan dalam pengoperasian serta pemeliharaan selama masa pemanfaatannya menggunakan sumberdaya alam seminimal mungkin, pemanfaatan lahan dengan bijak, mengurangi dampak lingkungan serta menciptakan kualitas udara di dalam ruangan yang sehat dan nyaman. Konsep *green building* akan mengurangi konsumsi energi secara signifikan melalui beberapa metode desain pasif dan desain aktif. Menggunakan konsep *green building* tidak perlu mengorbankan kenyamanan dan produktivitas akibat penghematan energi. *Green building* tidak hanya hemat energi tapi juga hemat air, melestarikan sumberdaya

alam, dan meningkatkan kualitas udara serta pengelolaan sampah yang baik. Dalam mengantisipasi krisis air bersih, dikembangkan konsep pengurangan pemakaian air (*reduce*) dengan produksi alat saniter yang hemat air, penggunaan kembali air untuk berbagai keperluan sekaligus (*reuse*), mendaur ulang buangan air bersih (*recycle*), dan pemanfaatan air hujan yang jatuh di atap bangunan (*rain water harvesting*). Berikut adalah keuntungan dalam membangun bangunan hijau atau *green building* (GBCI, 2013):

1. Desain yang lebih elegan dan fungsi dari setiap ruang didalam gedung lebih dapat dimanfaatkan ketimbang hanya sekedar dibangun. Penggunaan energi seperti listrik dan air lebih efektif sesuai kegunaannya.
2. Efektif penggunaan energi berakibat pada biaya yang dikeluarkan untuk keperluan tersebut lebih irit dan hemat.
3. Bangunan hijau dan ramah lingkungan, tentu dapat menghasilkan oksigen yang lebih banyak, suasana alam yang menenangkan sehingga berpengaruh terhadap kesehatan rohani dan jasmani.
4. Kesehatan jasmani dan rohani penghuni baik, tentu akan membangkitkan kreativitas dan produktivitas penghuni.
5. Selain efektif dalam kegunaan setiap ruang didalam gedung, tentu bangunan hijau akan membuat biaya pemeliharaan gedung semakin sedikit dan berjangka waktu yang panjang, karena menggunakan bahan bahan yang ramah lingkungan serta penghematan energi.
6. Saat ini bukan hanya Indonesia, melainkan perusahaan multinasional dan international banyak yang pembangunan merujuk kearah bangunan ramah lingkungan, sehingga bisnis bahan bahan yang ramah lingkungan menjadi sangat menguntungkan.
7. Apabila suatu bangunan sudah mendapatkan sertifikat sebagai suatu bangunan hijau, maka bangunan tersebut bisa dipelajari desainya oleh perusahaan perusahaan dari luar Indonesia.
8. Klien/konsumen maupun karyawan akan tertarik bekerja atau beroperasi didalam gedung tersebut karena gedung mampu menjadi bangunan ramah lingkungan.
9. Selain konsep ramah lingkungan dibangun dan diterapkan tempat bekerja, diharapkan konsep tersebut bisa disalurkan didalam rumah tangga masing – masing, sehingga efek rumah kaca, tidak hanya diminimalisir oleh gedung – gedung fasilitas pemerintahan, layanan public, gedung komersial, tetapi juga diterapkan oleh bangunan rumah tinggal dll.

Berikut adalah manfaat pembangunan yang menggunakan konsep *green building* (EPA, 2014) yaitu adalah

1. Manfaat Lingkungan :
 - a. Meningkatkan dan melindungi biodiversitas dan ekosistem
 - b. Memperbaiki kualitas air dan udara
 - c. Memperbaiki aliran limbah
 - d. Konservasi dan sumber daya alam
2. Manfaat ekonomi :
 - a. Mengurangi biaya operasional
 - b. Menciptakan dan memperluas pasar untuk produk dan pelayanan ramah lingkungan
 - c. Meningkatkan produktivitas penghuni
 - d. Mengoptimalkan kinerja daur hidup ekonomi
3. Manfaat sosial:
 - a. Masalah dengan infrastruktur local
 - b. Meningkatkan kualitas estetika

2.2.Selubung Bangunan (*Building Envelope*)

Selubung bangunan merupakan elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan, atau yang tidak transparan dimana sebagian besar energi termal berpindah lewat elemen tersebut (SNI 6389:2020). Selubung bangunan terdiri dari komponen tak tembus cahaya atau dinding dan sistem fenestrasi atau komponen tembus cahaya atau jendela yang memisahkan interior bangunan dari lingkungan luar. Selubung bangunan memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan luar yang tidak dikehendaki seperti panas, radiasi, angin, hujan, kebisingan, polusi dll. Selubung bangunan memiliki peran penting dalam mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan dan pencahayaan. Pada bangunan gedung bertingkat menengah dan tinggi, luas dinding jauh lebih besar daripada luas atap, oleh karena itu perancangan selubung bangunan vertikal, terutama jendela, harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari masuknya panas ke dalam bangunan secara berlebihan. Bangunan

bertingkat rendah dimana atap menjadi bagian yang lebih luas daripada dinding, panas yang masuk dari atap mungkin menjadi faktor penentu beban pendinginan secara keseluruhan. Selain itu, jendela dan *skylight* akan menentukan besarnya cahaya yang dapat masuk ke dalam bangunan. Dengan mengoptimalkan desain komponen tembus cahaya, konsumsi energi untuk pencahayaan buatan dapat dikurangi secara signifikan dengan tetap menghindari masuknya panas yang berlebihan ke dalam bangunan (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012). Dalam bangunan yang didominasi beban pendingin eksternal, konsumsi energi untuk HVAC terutama ditentukan oleh perpindahan panas melalui komponen selubung bangunan melalui dinding, jendela, atap, dan laju infiltrasi.

2.2.1 Dinding

Dinding bangunan umumnya terdiri atas beberapa lapisan material dengan ketebalan dan sifat termal yang berbeda. Gabungan nilai konduktansi (k) dan nilai resistensi (R) dari setiap lapisan bahan menentukan sifat termal keseluruhan dari dinding tersebut yang dapat direpresentasikan dengan Nilai-U. Semakin rendah Nilai-U semakin baik karena transfer termal yang lebih rendah (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

2.2.2 Jendela

Proporsi luas jendela memiliki pengaruh sangat besar terhadap beban pendinginan karena menentukan total perolehan panas yang masuk kedalam bangunan. Hal ini dikarenakan jendela kaca dapat memasukkan panas kedalam bangunan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dinding masif. Oleh karena itu rasio luas jendela terhadap dinding (WWR) yang lebih tinggi biasanya menyebabkan beban pendinginan lebih tinggi. Mengurangi luas jendela adalah salah satu solusi paling efektif untuk mengurangi beban pendinginan dan konsumsi energi bangunan secara keseluruhan. Karena konstruksi jendela biasanya lebih mahal daripada konstruksi dinding, mengurangi WWR juga dapat menurunkan biaya konstruksi. Hasil studi simulasi pada tipikal bangunan di Jakarta menunjukkan bahwa mengurangi luas jendela hingga setengah dapat menurunkan konsumsi energi hingga 10% (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

2.2.3 Kaca

Berdasarkan sifat termalnya, material kaca memiliki berbagai karakteristik yang berbeda, tergantung dari sifat transmisi radiasi matahari (solar transmittance), daya serap radiasi matahari (solar absorptance), daya pantulan radiasi matahari (solar reflectance) dan transmisi cahaya (visible transmittance). Karakteristik transmisi termal material kaca diukur dari Nilai-U, untuk konduksi, dan koefisien perolehan panas matahari (*Solar Heat Gain Coefficient* - SHGC) atau Koefisien Peneduh (Shading Coefficient - SC) untuk radiasi. Dalam hal ini, nilai SHGC = 0,86 SC. Iklim Indonesia dengan perbedaan suhu antara ruang dalam dan ruang luar yang relatif kecil, memperbaiki nilai SHGC akan lebih efektif daripada meningkatkan Nilai-U (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

2.2.4 Atap

Pada bangunan berlantai tunggal atau rendah dengan bidang atap yang luas, atap dapat menjadi sumber utama perolehan panas sebuah bangunan. Untuk meminimalkan kenaikan panas melalui atap, bahan dengan reflektifitas dan emisivitas tinggi harus dipilih. Karena bahan atap biasanya memiliki Nilai-U tinggi (transmisi panas tinggi), penambahan lapisan insulasi dapat mengurangi beban pendinginan secara signifikan. Memiliki atap dengan reflektifitas dan emisivitas tinggi juga akan mengurangi fenomena *urban heat island*. Sebagai alternatif, “atap hijau” (*green roof*) bisa diterapkan untuk mengurangi transmisi panas melalui atap. Meskipun Nilai-U atap hijau sulit untuk ditentukan, atap hijau tetap memiliki sifat termal yang sangat baik karena lapisan konstruksinya yang tebal. Nilai-U atap hijau sangat bervariasi tergantung pada lapisan konstruksi, kadar air dan jenis tanaman. Atap hijau juga mengurangi fenomena *urban heat island* karena sebagian besar radiasi matahari yang jatuh ke atap akan diserap oleh tanaman untuk penguapan dan transpirasi (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

SEKOLAH PASCASARJANA

2.2.5 Peneduh

1. Peneduh Eksternal

Peneduh eksternal lebih efektif dalam mengurangi perolehan panas matahari dibandingkan dengan peneduh internal karena dapat menghalangi radiasi matahari sebelum mencapai selubung bangunan. Peneduh eksternal perlu dirancang secara hati-hati agar tidak hanya untuk mengurangi beban pendinginan tetapi juga untuk menciptakan arsitektur yang estetis, dengan tetap memperhitungkan kinerja pencahayaan alami. Geometri perangkat peneduh harus dirancang sesuai dengan jalur pergerakan matahari, yang menyebabkan rancangan bentuk dan ukuran yang berbeda untuk orientasi yang berbeda. Secara umum,

perangkat peneduh horisontal lebih sesuai untuk jendela dengan orientasi selatan dan utara di mana sudut datang sinar matahari relatif tinggi.

2. Peneduh Internal

Peneduh internal (tirai, gorden) menahan radiasi matahari setelah melewati jendela kaca dan mencegah terjadinya radiasi matahari yang langsung mengenai penghuni dan bagian interior yang lebih dalam. Namun, peneduh internal tidak seefektif peneduh eksternal dalam mengurangi beban pendinginan. Hal ini disebabkan radiasi panas tersebut sudah terlanjur masuk ke dalam ruangan melalui kaca jendela serta diradiasikan dan dikonveksikan di dalam ruang, yang akhirnya menjadi beban pendinginan bagi sistem HVAC. Warna terang dari peneduh internal dengan lapisan reflektif lebih efektif daripada warna gelap karena lebih banyak panas dipantulkan kembali keluar melalui kaca jendela (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

2.2.6 Infiltrasi

Infiltrasi adalah bocornya udara eksternal ke dalam gedung secara tidak disengaja. Hal ini bisa terjadi melalui retak-retak yang terjadi pada dinding, atap, atau pintu dan jendela. Hal ini juga bisa terjadi melalui pintu dan jendela luar yang dibiarkan terbuka. Kebocoran udara ini dapat diperburuk oleh angin, tekanan udara negatif dari bangunan dll. Infiltrasi dapat meningkatkan konsumsi energi beban pendinginan di Jakarta, karena udara yang masuk harus didinginkan dan kelembabannya dikurangi (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta, 2012).

2.3. Konservasi Energi Bangunan

Perkiraan konsumsi energi bangunan berdasarkan tipenya adalah sebagai berikut: Buku Pedoman Energi Efisiensi Bangunan Gedung di Indonesia (2021):

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| a. Mall, toko, dan jasa | : 350-500 kWh/m ² /th |
| b. Rumah sakit | : 320-450 kWh/m ² /th |
| c. Apartemen | : 300-400 kWh/m ² /th |
| d. Hotel | : 290-400 kWh/m ² /th |
| e. Perkantoran | : 210-285 kWh/m ² /th |
| f. Pendidikan | : 165-295 kWh/m ² /th |

Berdasarkan data perkiraan di atas, maka mendorong munculnya peraturan tentang Konservasi Energi. Besarnya konsumsi energi bangunan-bangunan tersebut menyumbang hingga 50% total kebutuhan energi di Indonesia. Kebutuhan listrik bangunan juga menjadi penyebab 70% beban konsumsi listrik nasional. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 30 tahun 2007 tentang energi, konservasi energi adalah upaya melestarikan sumber daya energi dengan cara meningkatkan efisiensi penggunaannya yang dilakukan secara sistematis, terencana, dan terpadu. Pada konteks bangunan, konservasi energi dapat dilakukan melalui perencanaan desain yang baik serta pemilihan perangkat bangunan yang sesuai sehingga siklus energi yang terjadi dalam bangunan gedung dapat efisien. Dalam upaya efisiensi bangunan gedung, hal yang perlu diperhatikan diantaranya:

1. Proses desain terintegrasi
Pertimbangan menyeluruh antara perencanaan arsitektur, structural, mekanikal, dan elektrik sehingga tercipta integrasi yang baik antara desain bangunan dan karakteristik lingkungan.
2. Pilihan material dan teknologi
Perencanaan dan pemilihan desain serta material selubung bangunan, system HVAC, perangkat kelistrikan, konservasi air yang baik supaya tetap fungsional dan hemat energi.
3. Iklim
Konsumsi energi terbesar dalam bangunan digunakan untuk memodifikasi iklim ruang dalam bangunan supaya tercipta kondisi yang nyaman bagi aktivitas pengguna, sehingga perlu direncanakan strategi desain bangunan yang dapat merespon iklim terkait bentuk massa bangunan, orientasi bangunan, desain selubung bangunan, system penghawaan dalam bangunan dan sebagainya
4. Operasional
Membuat panduan operasional dan pemeliharaan bangunan yang berorientasi pada efisiensi energi. Salah satu cara yang dapat ditempuh adalah penerapan *Building Automation System* (BAS) dan *Building Energy Management System* (BEMS)
5. Perilaku
Menumbuhkan kesadaran perilaku pengguna gedung agar memiliki wawasan efisiensi energy (Pedoman Energi Efisiensi, Kementerian ESDM, 2021).

2.4. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Menurut SNI 6389 (2020) perhitungan nilai OTTV untuk selubung bangunan wajib dilakukan dengan memasukkan semua permukaan dalam selubung bangunan, baik vertikal (dinding) maupun horisontal (atap), baik permukaan transparan maupun tidak transparan, kecuali permukaan selubung yang bagian dalamnya berada dalam ruangan yang tidak dikondisikan. Kriteria konservasi energi selubung bangunan ditentukan oleh nilai perpindahan termal menyeluruh (OTTV) yang tidak boleh melebihi 35 W/m^2 . Selubung bangunan harus memenuhi persyaratan yaitu berlaku hanya untuk komponen dinding dan atap pada bangunan gedung yang dikondisikan (mempunyai sistem tata udara) menggunakan sistem tata udara. OTTV juga diartikan sebagai suatu nilai perpindahan termal menyeluruh untuk setiap bidang selubung luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu. Besarnya transmisi radiasi matahari dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima, koefisien peneduh dari kaca dan dari alat peneduh (jika ada). Konduksi panas melalui dinding dan kaca dipengaruhi oleh harga transmitansi (U) dari dinding dan dari kaca, beda temperatur udara di luar terhadap temperatur udara didalam bangunan (ΔT) dan absorptansi radiasi matahari dari permukaan luar dari dinding. Ketiga masukan panas ini dirata-ratakan pada seluruh permukaan dari dinding luar bangunan. Dengan memberikan harga batas tertentu untuk OTTV, maka besarnya beban eksternal dapat dibatasi. Besarnya OTTV dipengaruhi oleh perencanaan dari selubung bangunan, antara lain: luas dan jenis kaca, luas dan jenis bahan dinding serta ketebalannya, warna permukaan luar dinding dan orientasinya. Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung melalui persamaan 1 dan 2 berikut:

$$OTTV_i = \alpha((1-WWR*U_w)*T_{Dek}) + (WWR*U_f*\Delta T) + (WWR*SC*SF) \quad (1)$$

keterangan :

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (Watt/m^2)

α = absorptansi radiasi matahari.

U_w = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya ($\text{Watt/m}^2.\text{K}$)

WWR = perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan.

T_{Dek} = beda temperatur ekuivalen (K).

SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.

SF = faktor radiasi matahari (W/m^2).

U_f = transmitansi termal fenestrasi ($W/m^2.K$).

ΔT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam

Untuk menghitung OTTV seluruh dinding luar, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$OTTV = \frac{(A_{01} \times OTTV_1) + (A_{02} \times OTTV_2) + \dots + (A_{0i} \times OTTV_{0i})}{A_{01} + A_{02} + \dots + A_{0i}} \quad (2)$$

Keterangan:

A_0 = luas dinding pada bagian dinding luar i (m^2). Luas total ini termasuk permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut

$OTTV_i$ = nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding i ($Watt/m^2$).

Nilai OTTV yang digunakan sebagai acuan standar untuk masuk kriteria *green building* menurut Green Building Council Indonesia dan Standar Nasional Indonesia (2020) tidak boleh melebihi atau maksimal sama dengan $35 W/m^2$, sedangkan menurut Peraturan Walikota Semarang Nomor 24 Tahun 2019 tentang Bangunan Hijau nilai OTTV tidak melebihi nilai $40 W/m^2$.

Selubung bangunan sebagai komponen fisik bangunan yang memisahkan lingkungan luar dengan bagian dalam bangunan, berperan penting dalam pencapaian kinerja bangunan, terutama pada gedung perkantoran dengan banyak lantai. Selama terdapat perbedaan suhu yang cukup besar antara bagian luar dan bagian dalam bangunan, maka akan selalu terjadi perpindahan panas dari bagian luar ke bagian dalam bangunan atau sebaliknya melalui selubung bangunan. Penggunaan area jendela yang tepat atau rasio jendela-ke-dinding dalam bentuk penutup memiliki potensi tidak hanya untuk mengatur penetrasi panas ke dalam bangunan, tetapi juga untuk mengontrol penetrasi cahaya alami. Sistem ini, dipadukan dengan kontrol pencahayaan dan sistem AC, dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan. Beberapa proyek percontohan telah menunjukkan penghematan pencahayaan hingga 60%, pengurangan beban pendinginan hingga 20% dan pengurangan daya puncak hingga 26% (IEA, 2013). Dalam konteks ini, penggunaan area kaca atau WWR selubung bangunan secara bijaksana dapat memainkan peran penting sebagai pengontrol iklim di dalam gedung. WWR yang tepat akan mampu menyeimbangkan jumlah panas yang masuk ke dalam gedung dengan kebutuhan untuk mengontrol cahaya matahari, khususnya penyeimbangan untuk menurunkan suhu udara dan konsumsi energi penerangan. Semakin rendah temperatur udara, semakin

banyak energi pendinginan yang dibutuhkan (Halawa, E., van Hoof, J. & Soebarto, 2014). Ketepatan rancangan pola dan zona jendela pada sistem *smart building* dapat mencapai WWR yang paling optimal. Pengendalian radiasi matahari merupakan faktor kunci untuk mencapai kenyamanan dalam ruangan dan terutama untuk mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi pada bangunan (Casini, 2015).

Selubung bangunan keseluruhan mengacu pada bagian luar bangunan termasuk dinding, jendela, atap, lantai, dan struktur. Efisiensi fasad pada bangunan merupakan faktor utama dalam produksi panas (Walter, 2015). Selubung bangunan terdiri dari beberapa komponen buram seperti dinding dan komponen buram seperti jendela yang memisahkan bagian dalam bangunan dari lingkungan luar. Selubung bangunan memiliki peran penting sebagai perlindungan terhadap lingkungan luar, yaitu radiasi, panas, hujan, kebisingan, dan polusi bangunan bertingkat rendah yang atapnya lebih jauh dari dinding. Jendela dan *skylight* juga menentukan jumlah cahaya yang masuk ke gedung. Desain komponen tembus pandang yang dioptimalkan, konsumsi energi pencahayaan buatan merupakan alternatif untuk menghindari panas berlebih pada bangunan.

2.5. SEFAIRA

Sefaira merupakan platform analisis kinerja berbasis web, yang digunakan khusus untuk desain konseptual. Perangkat lunak ini berfungsi untuk merancang bangunan berkelanjutan serta mengoptimalkan efisiensi energi, potensi air, energi terbarukan dan juga mampu menganalisis karbon terhadap bangunan yang ditinjau. Analisis terkait penggunaan energi pada bangunan yang pengaturannya meliputi insulasi, ventilasi, perolehan panas, infiltrasi, dan pencahayaan (Nabilah et al, 2021). *Software* ini akan menjalankan simulasi berdasarkan geometri yang terdapat pada *Sketchup Studio* dengan hasil analisis yang dapat ditinjau dan dibandingkan untuk eksplorasi rekomendasi desain. Eksplorasi pilihan desain, dalam meninjau kinerja bangunan meliputi energi tahunan pada bangunan, produksi CO₂ tahunan, beban pemanasan dan pendinginan bangunan pertahun atau HVAC berdasarkan penilaian STANDAR ASHRAE 90.1-2019 untuk menganalisis selubung/selimut bangunan dengan bukaan dan material lapisan penutup. Dalam perhitungan energi tahunan dibagi menjadi tiga yaitu selimut atau selubung bangunan, HVAC, dan energi terbarukan. Sebelum menjalankan *software* Sefaira menggunakan analisis awal dengan mengkondisikan lokasi bangunan yang tinjau berdasarkan iklim eksisting setempat, kemudian membagi bagian dari setiap bangunan seperti atap, dinding dan jendela (Flaherty, 2017). Sefaira memberikan kemudahan dalam

mengintegrasikan desain bangunan berbasis kinerja dengan logo perangkat yang disajikan pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sefaira for SketchUp

2.5.1 Masukan Data Sefaira

Sefaira membutuhkan delapan jenis kelompok data sebagai masukan awal sebelum memasuki tahap analisis. Kelompok data yang dimaksud diantaranya (Utama, 2023):

1. Model 3D Bangunan

Model 3D bangunan berfungsi membantu sistem *engine* untuk mendapatkan informasi mengenai bentuk bangunan, orientasi bangunan, dan identifikasi bidang (lantai, dinding, atap, bidang kaca, peneduh dsb).

2. Data lokasi dan Cuaca

Pada perangkat ini, data cuaca berdasarkan lokasi dari EnergyPlus. Ketika lokasi bangunan telah ditentukan, Sefaira akan secara otomatis memilih data cuaca dari stasiun meteorologi terdekat.

3. Selubung Bangunan

Selubung bangunan mencakup dinding, lantai, atap, bidang kaca, dan keberadaan atap kaca. Masing-masing selubung bangunan harus ditentukan material dan nilai *U-value*. Khusus untuk material kaca, harus diketahui nilai *solar heat gain coefficient* (SHGC). Selubung bangunan merupakan elemen terbesar dalam menangkap radiasi matahari, dan penting juga untuk mengetahui nilai *window to wall ratio* (WWR) bangunan. Selubung bangunan berkaitan dengan infiltrasi. Nilai infiltrasi akan menggambarkan jumlah udara yang masuk ke bangunan. Semakin besar nilai infiltrasi radiasi matahari semakin besar pula beban pendinginan bangunan. Infiltrasi dapat masuk melalui pergantian udara pada system HVAC, area fasad bangunan, dan celah atau retak pada bukaan bangunan.

4. Perangkat Peneduh

Perangkat peneduh bangunan dapat dianalisis secara otomatis melalui model 3D bangunan. Namun perangkat ini juga menyediakan sistem input manual mengenai data

perangkat peneduh yang meliputi peneduh horizontal, peneduh vertikal, dan peneduh campuran.

5. Penggunaan Ruang Bangunan

Penggunaan ruang bangunan berkaitan erat dengan fungsi bangunan itu sendiri. Dalam bagian ini terdapat empat kategori meliputi:

A. Desain beban bangunan

Desain beban bangunan mencakup (a) *occupant density* (m^2/orang), berkaitan dengan seberapa padat pengguna bangunan jika dibandingkan dengan luas lantai bangunan, (b) *equipment power density* (W/m^2) mengenai seberapa perangkat mekanis yang direncanakan beroperasi dalam bangunan dan (c) *lighting power density* (W/m^2) tentang kepadatan energi lampu per satuan luasan bangunan.

B. Desain temperatur

Desain temperatur berkaitan dengan perencanaan dan upaya mempertahankan suhu ruang dalam bangunan pada angka tertentu yang dikehendaki. Hal ini berkaitan erat dengan intensitas kinerja sistem HVAC bangunan. Desain temperatur mencakup *setpoint temperatures* dan *setback temperatures*.

C. Ventilasi dan udara luar

Laju aliran udara ruang luar yang masuk penting untuk diketahui karena berkaitan dengan beban pendingin dan upaya penyediaan udara bersih bagi bangunan. Variabel terkait ventilasi dan udara luar mencakup *outside air rate/person*, *outside air rate/unit area*, serta *air changes per hour*.

D. Jadwal HVAC

Sebagai komponen penyumbang konsumsi energi terbesar, perlu diketahui jadwal operasional harian sistem HVAC bangunan beserta *setback to setpoint ramp up time*.

E. Jadwal harian bangunan

Penggunaan energi bangunan terbesar terjadi ketika bangunan tersebut digunakan dan penting untuk mengetahui jadwal operasional bangunan, sehingga konsumsi energi bangunan dapat diperkirakan.

F. Faktor diversitas tahunan

Bagian ini berfungsi untuk mengetahui fluktuasi grafik konsumsi energi harian bangunan berdasarkan aktivitas yang dilakukan pengguna. Data yang diperlukan adalah *internal loads applied* dan *HVAC system operating on*.

6. Sistem HVAC

Terdapat tiga kelompok penghawaan mekanis dalam Sefaira:

- A. *Overhead All-Air System : variable air volume (VAV) dan Constant Air Volume (CAV)*
- B. *DOAS system: Package Terminal AC, PTHP/Split System, Fan Coil Unit and Central Plant, Water Source Heat Pump Fan Coils, VRF Fan Coil, Active/Passive Chilled Beams, Radiant Floor, dan Heating-Ventilation Only*
- C. *Underfloor Systems: Underfloor Air Distribution and Displacement Ventilation*

Salah satu hal terpenting dalam sistem HVAC adalah tingkat efisiensi pendinginan yang dilihat dari nilai EER atau COP. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 57 Tahun 2017 tentang Penerapan Standar Kinerja Minimum dan Pencantuman Label Tanda Hemat Energi (*Energy Efficiency Ratio/EER*) adalah perbandingan antara kapasitas pendinginan udara (BTU/jam) dengan daya listrik yang dikonsumsi (watt). Semakin tinggi nilai EER maka semakin baik pula efisiensi perangkat HVAC. Sedangkan koefisien kinerja (*Coefficient of Performance/ COP*) berbanding terbalik dengan EER dengan persamaan $EER = 3,41 \times COP$.

Selain penghawaan mekanis, input sistem HVAC juga terdapat integrasi dengan penghawaan alami, sehingga perlu ditentukan mekanisme integrasi kedua sistem tersebut.

SEKOLAH PASCASARJANA

7. Energi Alternatif

Energi alternatif dalam Sefaira hanya berupa penggunaan panel *Photovoltaic* (PV). Bagian ini mencakup masukan data mengenai efisiensi, orientasi, kemiringan dan luas bidang panel PV.

8. Zoning Ruang dan Bangunan

Pada zoning ini mendeskripsikan bagaimana pembagian zona yang direncanakan dalam sistem penghawaan bangunan. Pilihan zona yang ada adalah zona perantai, zona perimeter, dan zona per ruang. Hal ini berkaitan dengan variasi beban pendinginan dalam bangunan sehingga akan mempengaruhi tingkat efisiensi penggunaan sistem penghawaan mekanis bangunan.

2.5.2 Keluaran Data Sefaira

Keluaran data Sefaira mencakup empat hal yaitu pencahayaan alami bangunan (*daylight*), kinerja sistem HVAC bangunan, kenyamanan termal bangunan, serta konsumsi energi beserta emisi karbon bangunan (Utama, 2023).

1. Pencahayaan Alami

Sefaira dapat memberi visualasi pencahayaan alami bangunan yang meliputi kualitas pencahayaan (*well lit, overlit, underlit*), pencahayaan rata-rata tahunan, pencahayaan pada waktu tertentu, dan *daylight factor*.

2. HVAC

Berkaitan dengan HVAC, Sefaira dapat memberikan keluaran berupa:

A. *Zone Sizing*

Sefaira dapat memberikan keluaran berupa FCU *fan size* (L/s), minimum outside air (L/s), serta FCU *cooling/heating coil* (kW) pada tiap zona yang telah ditentukan.

B. *Peak load*

Beban pendinginan bangunan dapat diketahui beserta sumbernya, yaitu *equipment gain, infiltration gain, dan lighting gain* (W/m²)

C. *Plant sizing*

Sefaira dapat menunjukkan kapasitas perangkat HVAC yang diperlukan untuk bangunan. Keluaran data yang disediakan adalah *cooling/heating (cooling equipment design capacity, Total Peak Coil Load, AHU Peak Coil Load, Peak Coil Load per Zona, dan Chilled Water Pumps), Air Handling (Design Capacity dan minimum Outside Air)*, serta *Heat Rejection*.

3. Kenyamanan termal

Sefaira dapat memunculkan data simulasi kenyamanan termal bangunan per hari dalam satu tahun dengan mengolah data cuaca yang didapat dari stasiun meteorology

terdekat. Keluaran ini dapat memberi gambaran performa kenyamanan termal bangunan secara menyeluruh, sehingga nantinya dapat diketahui alternative dalam *dry bulb temperature*, *operative temperature*, serta *predicted mean vote* (PMV).

4. Konsumsi energi dan emisi karbon

Sefaira dapat menunjukkan tingkat konsumsi energi bangunan berupa *energy use intensity* lengkap dengan *energy breakdown* masing-masing variabel, emisi karbon yang dihasilkan bangunan, hingga perkiraan biaya energi tahunan bangunan.

2.6. Excellence In Design For Greater Efficiencies (DFGE-EDGE)

EDGE *Design For Greater Efficiencies* atau DFGE (Desain Terbaik untuk Efisiensi Lebih Tinggi) merupakan perangkat lunak gratis, standar bangunan ramah lingkungan, dan sistem sertifikasi internasional untuk bangunan ramah lingkungan. Sebagai solusi bangunan ramah lingkungan yang dibuat oleh IFC (*International Finance Corporation*), anggota Group Bank Dunia. EDGE mengoptimalkan desain agar dapat menggunakan lebih sedikit listrik, udara, dan energi yang tertanam dalam bahannya. EDGE adalah platform bangunan ramah lingkungan yang mencakup standar bangunan ramah lingkungan global, aplikasi perangkat lunak, dan program sertifikasi. Platform ini dimaksudkan bagi siapapun yang tertarik pada desain bangunan ramah lingkungan, baik arsitek, teknisi, pengembang, atau pemilik bangunan. EDGE memberdayakan penemuan solusi teknis pada tahap desain awal untuk mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan. Berdasarkan input informasi pengguna dan pilihan tindakan ramah lingkungan, EDGE menampilkan proyeksi penghematan operasional dan pengurangan emisi karbon. Gambaran kinerja secara menyeluruh ini membantu menjelaskan kasus bisnis yang menarik untuk membangun secara ramah lingkungan. Rangkaian tipe bangunan EDGE mencakup bangunan rumah, apartemen, penginapan, pertokoan, industri, kantor, kesehatan, pendidikan, dan bangunan serbaguna. EDGE dapat digunakan untuk menyertifikasi bangunan pada setiap tahap daur hidupnya; termasuk bangunan dalam tahap konsep atau desain, konstruksi baru, bangunan lama, dan renovasi. EDGE adalah inovasi IFC, organisasi serupa dari Bank Dunia dan anggota Grup Bank Dunia. EDGE memiliki tiga simulasi utama yang dinilai efektif untuk menciptakan bangunan hijau yaitu *energy saving*, *water saving*, dan *material saving*. Standar EDGE mendefinisikan bangunan hijau mencakup minimal 20% penggunaan energi, 20% penggunaan air, dan 20% energi yang terkandung dalam bahan material. EDGE menggunakan PUE (efektifitas penggunaan daya) sebagai batas dasar listrik untuk pusat data. PUE adalah metrik yang ditentukan oleh Green Grid Association yang menjelaskan seberapa efisien pusat data dalam menggunakan listrik. Ini adalah rasio jumlah

total listrik yang digunakan oleh sebuah fasilitas dengan listrik yang dialirkan ke perangkat IT. (Edge, 2020). Logo perangkat yang disajikan pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 EDGE

EDGE sebagai inovasi dari IFC, EDGE menciptakan jalinan hubungan diantara pengembang, pemilik bangunan, bank, pemerintah, dan pemilik hunian guna lebih saling memahami bahwa semua pihak akan menikmati manfaat finansial yang dihasilkan dari bangunan hijau. Dengan membantu untuk mendorong pasar dari sisi aspek peraturan dan secara bersamaan mendukung sisi kepedulian sukarela, EDGE memicu gerakan besar bangunan hijau untuk membantu mengatasi dampak perubahan iklim (edgebuildings.com). Fitur penilaian dalam platform EDGE Building Apps berfokus pada detail penilaian *green building* yang paling dasar yaitu orientasi bangunan, *building depth*, *shading*, WWR, *green glass*. Detail perhitungan *green building* lainnya dapat diinput sesuai dengan menu yang tersedia di dalam platform.

IFC adalah anggota Grup Bank Dunia yang memfokuskan pada pengembangan sektor swasta. Bekerja dengan para mitra di lebih dari 100 pasar negara berkembang, IFC melakukan investasi, memberi saran, dan memobilisasi sumber daya dari pihak lain, guna menciptakan peluang bagi klien di beragam industri. Memposisikan diri diantara sektor swasta dan pemerintah, Tujuan IFC menciptakan platform berbasis website EDGE Building App untuk menjadikan platform ini sebagai salah satu basis mesin perhitungan *green building* sebuah bangunan berdasarkan data asli yang didapatkan secara langsung di lapangan. EDGE Building App dibuat untuk mempermudah dan memperringkas pekerjaan penilaian *green building* yang kompleks. IFC memberikan solusi berbasis pasar dalam menanggapi tantangan pertumbuhan ekonomi dengan tingkat emisi karbon yang rendah (edgebuildings.com). Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam analisis data pada perangkat lunak EDGE diantaranya:

1. Orientasi Bangunan

Nilai persentase *energy saving* dapat berubah ketika input data dilakukan pada arah hadap Bangunan. Dalam hal ini arah hadap bangunan sangat berpengaruh karena berhubungan dengan sinar matahari. Bangunan menghadap ke utara atau selatan merupakan arah hadap yang baik dibandingkan menghadap ke arah timur dan barat, dikarenakan lebih

banyak mendapatkan panas dari sinar matahari. Namun jika saat terjadi musim hujan di Indonesia dengan posisi matahari di sebelah selatan, justru bangunan yang menghadap ke utara memiliki kelembaban yang tinggi karena tidak terkena sinar matahari sepanjang musim hujan. Agar tetap terkena matahari pada arah utara bangunan, maka baiknya bangunan arah utara dimiringkan dengan sudut kemiringan 10 – 15 derajat. *Energy saving* dipengaruhi dengan adanya beban cooler dan lampu pada ruangan. Semakin banyak panas yang masuk dalam ruangan semakin besar beban cooler, karena sistem kerja cooler adalah *balancing temperature*.

2. *Windows to Wall Ratio (WWR)*

Pengurangan rasio jendela ke dinding atau *Windows to Wall Ratio (WWR)* mempengaruhi *saving energi* pada bangunan. Semakin besar lubang cahaya pada bangunan maka semakin besar jumlah sinar matahari yang masuk mengakibatkan panas dan intensitas cahaya semakin tinggi (WWR besar) dan menyebabkan semakin kecil *saving energi* pada bangunan. Bangunan dengan kebutuhan kaca yang banyak dapat menggunakan kaca *low-heat* atau *lower Uvalue* agar meminimalisir panas yang masuk dalam bangunan karena kaca dengan *lower Uvalue* memiliki *lower heat transfer* dalam ruang. *Windows to Wall Ratio (WWR)* harus dipilih dan dimasukkan nilai WWR dalam Aplikasi EDGE terhadap semua kasus, terlepas dari nilainya. Penghematan dapat dicapai jika *Windows to Wall Ratio (WWR)* tidak lebih tinggi dari *Base Case*. Semakin besar lubang cahaya pada bangunan maka semakin besar jumlah sinar matahari yang masuk mengakibatkan panas dan intensitas cahaya semakin tinggi (WWR besar), menyebabkan semakin kecil *saving energy* pada bangunan. Bangunan dengan kebutuhan kaca yang banyak dapat menggunakan kaca *low-heat* atau *lower U-value* agar meminimalisir panas yang masuk dalam bangunan karena kaca dengan *lower U-value* memiliki *lower heat transfer* dalam ruang.

$$WWR = \frac{\text{Luas bukaan (m}^2\text{)}}{\text{Luas dinding + jendela (m}^2\text{)}} \times 100\% \quad (1)$$

3. *Annual Average Shading Factor (AASF)*

Annual Average Shading Factor (AASF) atau peneduh eksternal merupakan upaya untuk mengurangi pemaparan panas matahari sebelum sampai di selubung bangunan. Terdapat 4 jenis pembayang untuk bangunan, yaitu *overhang horizontal*, *overhang vertical*, *combined overhang*, dan *overhang* yang dapat dipindahkan. Tritisan atau yang disebut juga sebagai pembayang pada bangunan berguna untuk melindungi bukaan pada fasad (jendela dan pintu kaca) dari radiasi matahari langsung untuk mengurangi

silau dan mengurangi perolehan panas matahari. Semakin besar faktor pembayang pada bangunan maka semakin besar juga kemampuan pembayang untuk melindungi bangunan dari radiasi sinar matahari. Faktor pembayang pada bangunan dinyatakan sebagai nilai desimal antara 0 dengan 1.



Gambar 2. 3 Jenis pembayang pada bangunan

$$AASF = 1 - \frac{\text{total perolehan panas matahari tahunan dari jendela dengan naungan (kWh)}}{\text{total perolehan panas matahari tahunan dari jendela tanpa naungan (kWh)}} \quad (2)$$

4. Nilai U pada Isolasi Atap

Isolasi atap digunakan untuk mencegah transmisi panas dari lingkungan eksternal ke ruang internal (untuk iklim tropis) dan dari ruang internal ke lingkungan eksternal (untuk iklim dingin). Isolasi atap membantu pengurangan panas dengan cara konduksi, sehingga lebih banyak isolasi maka nilai konduktivitas-U lebih rendah. Bangunan yang diinsulasi dengan baik memiliki kebutuhan energi pendinginan dan atau pemanasan yang lebih rendah. Nilai konduktivitas-U adalah indikasi berapa banyak energi panas (panas) yang ditransmisikan melalui suatu bahan (*thermal transmittance*). Perhitungan insulasi menggunakan nilai konduktivitas-U yang didefinisikan sebagai jumlah panas yang mengalir melalui areadalam satuan waktu, per satuan perbedaan suhu; nilai-U dinyatakan dalam Watts per meter persegi kelvin (W / m^2K). Ketebalan material juga mempengaruhi nilai konduktivitas-U. Jika nilai-U yang digunakan untuk atap berbeda maka harus dihitung menggunakan rumus yang sesuai dengan “metode gabungan”. Untuk beberapa jenis atap dengan nilai-U yang berbeda, dapat menggunakan rata-rata. Udara bergerak dari daerah yang panas ke daerah yang dingin. Panas lebih cepat merambat pada material yang tipis dibandingkan dengan yang tebal dan lebih cepat merambat melalui material yang mempunyai konduktivitas tinggi, serta lebih lambat merambat melalui material yang mempunyai konduktivitas rendah (World Bank Group, 2019).

$$U \text{ value (transmittance)} = \frac{1}{Ra-a} \quad (3)$$

$$Ra-a = R_{so} + R_1 + R_2 + R_{...} + R_{si}$$

$$R \text{ material} = \frac{b}{k}$$

$$b = \text{thickness (m)}$$

λ = conductivity (W/mK) (transmisi heat tidak dipengaruhi oleh ketebalan material)

R_{a-a} = mair to air resistance

R_{so} = outdoor surface resistance

R_{si} = indoor surface resistance

$R_1 + R_2$, = total resistance of all materials



SEKOLAH PASCASARJANA

5. Sistem *Variable Refrigerant Flow* (VRF)

AC VRF adalah unit AC yang mempunyai bermacam-macam laju aliran refrijeran padatiap-tiap saluran di dalam ruangan (*indoor*). AC VRF hanya mempunyai satu unit *outdoor* tetapi dapat mempunyai lebih dari satu atau banyak unit *indoor*. Sistem konvensional membuang udara dari ruangan yang diserap oleh *refrigerant* dengan cara mensirkulasikan udara (pada sistem *duct*) atau air (pada *chiller*) ke seluruh bangunan. Sistem VRF (*Variable Refrigerant Flow*) memiliki keunggulan dalam hal kapasitas yang lebih besar, versi yang lebih rumit dalam sistem *multi split* dengan penggunaan *duct* yang lebih sedikit dengan kemampuan tambahan dari hubungan antara *duct* dengan *fan coil unit*, Putra, 2019).

Sistem VRF (*Variable Refrigerant Flow*) sangat direkomendasikan untuk bangunan dengan zona atau variasi yang luas dalam beban pendinginan atau pemanasan di banyak zona internal yang berbeda yang memerlukan kontrol individu, seperti kantor, retail, hotel, dan resort.

2.7. Kampus Hijau

Konsep keberlanjutan sering dikenal dengan konsep hijau, desain hijau, material hijau, bangunan hijau, ekologis dan sebagainya. Hal ini didukung melalui bangunan hijau yang menjadi salah satu alternatif desain dan sudah diterapkan pada rumah tinggal, gedung perkantoran, gedung hunian, gedung kampus, komersil dan lain-lain. Universitas mulai untuk membangun gedung baru dengan konsep bangunan hijau, ataupun bangunan eksisting dengan mengangkat konsep tersebut untuk keberlanjutan bangunan dan lingkungannya. Kampus yang menerapkan konsep hijau kemudian dikenal sebagai kampus hijau atau *Green Campus*. Istilah *Green Campus* dalam konteks pelestarian lingkungan bukan sekedar lingkungan kampus yang dipenuhi pepohonan hijau atau kampus yang dipenuhi vegetasi, atau kampus yang memiliki cat dinding yang hijau, namun lebih jauh dari itu makna adalah sejauh mana sivitas akademika dapat memanfaatkan sumber daya yang ada di lingkungan kampus secara efektif dan efisien, misalnya dalam penggunaan energi khususnya listrik, air, pengelolaan sampah, dan lainnya. Pada gambar 2.4 hingga 2.9 merupakan beberapa contoh kampus berkonsep *green building*, diantaranya :



Gambar 2. 4 Universitas Multimedia Nusantara

Universitas Multimedia Nusantara (UMN) meraih peringkat ke-12 kampus hijau terbaik di Indonesia dan peringkat ke-240 di dunia (GreenMetric World University Rankings 2017)



Gambar 2. 5 University of Nottingham, United Kingdom

University of Nottingham di United Kingdom merupakan salah satu kampus hijau di dunia (GreenMetric World University Rankings 2021)



Gambar 2. 6 Wageningen University and Research, Netherland

Wageningen University and Research, Netherland merupakan kampus hijau Terbaik di dunia (GreenMetric World University Rankings 2019)



Gambar 2. 7 UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

Kampus UIN Syarif Hidayatullah Jakarta memperoleh predikat *The 2021 Most Sustainably Improved University In Indonesia* (UI GreenMetric, 2021)



Gambar 2. 8 Unika Soegijapranata Semarang

Kampus kedua Unika Soegijapranata mendapatkan sertifikasi *green building* dari Green Building Council Indonesia (2021). Kampus ini terletak di kawasan Bukit Semarang Baru (BSB) City



Gambar 2. 9 Psikologi Undip

Undip's First Bioclimatic and Biophilic Green Building"

Kampus Psikologi disebut sebagai *Undip's First Bioclimatic and Biophilic Green Building* yang ramah lingkungan, Fakultas Psikologi Undip telah meraih penghargaan Subroto Bidang Efisiensi Energi dari Kementerian ESDM pada tahun 2018.

Penelitian terdahulu terkait kampus hijau disajikan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Matriks Penelitian Kampus Hijau



SEKOLAH PASCASARJANA

Peneliti	Temuan	Kata kunci
Tan et al. (2014)	Konsep universitas hijau muncul dalam teori operasi universitas berdasarkan konsep pembangunan berkelanjutan. Kampus hijau terdiri dari masterplan dan konstruksi hijau, operasi dan manajemen hijau, teknologi hijau, dan pendidikan hijau.	Masterplan dan konstruksi, manajemen, teknologi, dan pendidikan hijau
Khanh. (2018)	Tiga aktivitas utama dalam kampus: 1. Proyek hijau untuk pembangunan berkelanjutan untuk meningkatkan kesadaran gagasan hijau antara sivitas akademika. 2. Pengurangan konsumsi air dan penghematan energi dengan penggunaan sistem utilitas otomatis, sistem panel solar energi. 3. Menerapkan langkah-langkah untuk mencegah faktor-faktor yang menyebabkan kerusakan lingkungan seperti debu dan asap, zat limbah padat normal, zat limbah padat berbahaya, air limbah, dan kebisingan.	Gagasan hijau sivitas akademika, pengurangan konsumsi air, energi, minimisasi limbah

Calder & Dautremont-Smith. (2009)	Universitas berkontribusi dalam proses kelestarian lingkungan melalui sinergi pendidikan, penelitian, operasi, dan administrasi. Inisiatif kampus hijau meliputi pengelolaan bangunan hijau, energi, air, transportasi, limbah, dan lansekap berkelanjutan	Sinergi pendidikan hingga pengelolaan hijau berkelanjutan
Owens dan HalfacreHitchcock. (2006)	Kemajuan universitas dalam menjadi kampus hijau dipengaruhi oleh berbagai tantangan dan hambatan sehingga perlu adanya fasilitas untuk mengatasinya	Fasilitas pendukung
E. A. Hopkins, et al (2016)	Kendala terbesar yang dihadapi adalah keberlanjutan dan konsistensi civitas akademika kampus untuk mewujudkan konsep tersebut. Umumnya halangan dalam pengambilan keputusan untuk mewujudkan <i>green campus</i> di antaranya adalah kurangnya perhatian dan kesadaran di antara pemegang keputusan, rendahnya insentif, tidak adanya kompetisi kebijakan (champions), kebijakan keuangan yang kurang mendukung	Pemangku kebijakan kampus hijau

Zhao et al. (2021)	Evaluasi desain lebih banyak tentang perencanaan ruang lingkup, sumber penggunaan air, jaringan pipa air, peralatan air, dll. Dalam operasional kampus manfaat sumber daya air adalah penghematan dan pengembangan kembali sumber daya air terutama penggunaan peralatan hemat air jangka panjang, pembaruan irigasi tanaman hijau kampus, pemanfaatan air hujan.	Sistem utilitas
Qian, Yang, (2018)	Penelitian ini menggabungkan metode desain lingkungan hijau dan desain lingkungan kampus. Kampus berkelanjutan harus memenuhi tiga persyaratan dasar yaitu fasilitas, operasi, dan pendidikan	Desain lingkungan hijau dan desain kampus hijau
Irina, Deivendran. (2016).	Tata kelola minimalisasi limbah menuju keberlanjutan kampus: studi kasus inisiatif Green Office di Universiti Teknologi Malaysia. Menganalisis isu-isu penting tentang tata kelola dan kelembagaan upaya minimalisasi sampah dalam keberlanjutan kampus.	Tata kelola minimisasi limbah
Zao, (2015).	Aspek kampus keberlanjutan secara keseluruhan banyak yang harus dipertimbangkan, seperti pemilihan dan pengembangan lokasi, kondisi alam, kualitas kenyamanan ruang, desain drainase, dll.	Pemilihan lokasi, kondisi lingkungan

Dogget, (2004).	Kriteria evaluasi kampus hijau meliputi perencanaan lokasi yang berkelanjutan, efisiensi air, lingkungan alam dan energi, bahan dan sumber daya, kualitas lingkungan dalam ruangan, inovasi desain dan preferensi area, desain terpadu, pemilihan, dan transportasi.	Perencanaan lokasi dan efisiensi lingkungan
-----------------	--	---

Berdasarkan tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa penelitian kampus hijau merupakan perencanaan pembangunan yang memperhatikan segala perancangan hingga pengelolaan hijau yang melibatkan seluruh sivitas akademika dan aspek kebijakan kelembagaan yang baik untuk mencapai *green campus*. Meminimalkan dampak buruk pada lingkungan kampus dan sekitarnya dan memberikan dampak positif pada pengguna dan lingkungan sekitarnya dengan efisiensi pada setiap sumber daya energi, air, material.

Tabel 2.2 Matriks Penelitian Perangkat Lunak Bangunan Hijau

Peneliti	Temuan	Kata kunci
Ali Al-janabi, Miroslava Kavacic et al, (2018).	Perbedaan prediksi kinerja simulasi energi karena perbedaan algoritma perangkat lunak EnergyPlus dan IES dengan obyek di universitas menggunakan model LEED dilengkapi dengan sistem HVAC yang kompleks. Perbedaan antara energi total konsumsi model EnergyPlus dan IES yang dikembangkan adalah sekitar 2,1%, sedangkan perbedaan antara beban pemanasan dan pendinginan <i>EnergyPlus</i> dan IES	Kemampuan dua perangkat lunak <i>building performance simulation</i> EnergyPlus dan IES (<i>Integrated Environmental Solutions</i>)

	model dengan sistem beban udara ideal masing-masing adalah 6 MWh (1,7%) dan 0,86 MWh (7,8%).	
S. Andolsun, C. Culp, (2008).	IES menggabungkan beberapa modul untuk dijalankan analisis energi dinamis seluruh bangunan. ApacheSim adalah simulasi sentral prosesor yang memungkinkan penilaian kinerja termal bangunan serta berbagi hasil dan masukan ke modul IES. <i>EnergyPlus</i> memungkinkan peningkatan kemampuan dan fleksibilitas dalam pemodelan sistem HVAC.	System HVAC perangkat IES (<i>Integrated Environmental Solutions</i>)
B A Rabbani, (2019).	Menganalisis seberapa besar perbedaan perhitungan OTTV manual dengan OTTV digital. OTTV digital melalui sefaira menghasilkan lebih dari sekedar nilai perpindahan panas dan memberikan rekomendasi desain yang lebih tepat untuk memaksimalkan desain. Bukan berarti perhitungan manual OTTV tidak lebih baik dan lebih akurat, karena rumus yang digunakan mencakup bangunan selubung, ukuran detail jendela, warna dan bahan bangunan. Sefaira lebih mendukung, karena proses arsitektur data atau proses desain mengacu pada uji coba dan kesalahan	Perbedaan analisis OTTV
Jeewan Leea, Mohammed Alshayeba, et al (2015).	Perangkat peneduh horizontal lebih efektif dalam penghematan energi pemanasan dan pendinginan daripada perangkat peneduh vertikal, tetapi rongga udara sisi luar perangkat peneduh horizontal akan rentan terhadap panas berlebih yang menyebabkan ketidaknyamanan termal dan kebutuhan energi pendinginan	Perancangan peneduh untuk ventilasi alami
M Amalia, dkk (2020).	Analisis energi menggunakan Sefaira perubahan desain bangunan sesuai dengan rekomendasi desain untuk mengurangi penggunaan energi. Selain zona iklim, ada indikator yang berubah untuk mencapai efisiensi energi. Indikator ini berhubungan dengan penggunaan material dan spesifikasi material yang akan diaplikasikan pada bangunan.	Energi efisiensi perangkat lunak sefaira

Van Halen, dkk (2021).	Efisiensi energi bangunan dengan mengubah material yang lebih optimal dalam merespon panas yang diterima bangunan. Perubahan yang diterapkan pada bangunan dengan mengoptimalkan material seperti penerapan insulasi, ventilasi, dan solar screen dapat menurunkan nilai <i>solar heat gain coefficient</i> (SHGC). Sefaira menggunakan Standar ASHRAE 90.1-2013 untuk menganalisis selubung bangunan dengan bukaan terperinci dan lapisan tertutup lengkap, sedangkan penggunaan standar <i>Energy Use Intensity</i> (EUI) berada dalam nilai ideal 79 kWh/m ² /tahun	Strategi optimal selubung bangunan
------------------------	---	------------------------------------

Berdasarkan tabel 2.2 dapat disimpulkan bahwa penelitian perangkat lunak bangunan hijau berfokus pada penurunan efisiensi energi pada bangunan khususnya bangunan bertingkat tinggi. Desain bangunan hijau yang dilakukan untuk selubung bangunan termasuk desain peneduh bangunan untuk ventilasi alami yang maksimal. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengurangi beban pendingin bangunan (sistem HVAC) agar penggunaan energi listrik tidak maksimal sehingga menyebabkan konsumsi energi yang boros dan memperburuk emisi gas CO₂ dari sektor bangunan gedung. Meminimalkan dampak buruk pada lingkungan kampus dan sekitarnya dan memberikan dampak positif pada pengguna dan lingkungan sekitarnya dengan efisiensi energi.

SEKOLAH PASCASARJANA