

Studi Tentang Pemodelan Bangunan Ditinjau Dari Aspek Teknis (Studi Kasus: Bangunan di Daerah Tropis)

Andrew Stefano^a & Sri Endayani^b

^aProgram Studi Teknologi Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

^bProgram Studi Kehutanan, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda, Samarinda

ABSTRACT

Penyebab pemanasan global adalah meningkatnya emisi CO² di atmosfer. Kondisi ini menyebabkan bumi semakin panas dan mempengaruhi kehidupan di masa yang akan datang, es di daerah kutub mencair, permukaan laut naik setiap tahun, hingga terciptanya badai angin. Kondisi lingkungan seperti ini dapat membahayakan generasi di masa yang akan datang. Pemakaian listrik dari pembangkit berbahan bakar menggunakan fosil, merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global, karena dapat meningkatkan emisi CO². Bangunan yang didesain tidak memperhitungkan pemakaian listrik, merupakan salah satu kontribusi dalam merusak lingkungan. Kebutuhan listrik tidak dapat dihindari karena pesatnya perkembangan teknologi. Pengaruh iklim luar daerah tropis yang panas berpengaruh ke dalam bangunan, menyebabkan beban pendinginan semakin besar. 40-50% energi listrik dalam bangunan dibutuhkan untuk proses pendinginan ruang (*Air Conditioner*), presentasi ini akan semakin besar kalau iklim di luar semakin panas. Usaha penghematan listrik pada skala bangunan dengan cara mentraitment konfigurasi arsitekturnya. Penyebab panas pada bangunan 80% berasal dari luar bangunan dengan mempertimbangkan desain sistem penerangan, pendinginan dan kulit bangunan. Dapat mencapai 70% pengurangan penggunaan listrik dengan penstimulasian antara model bangunan yang respond dan tidak terhadap lingkungan. Lebih hemat lagi 30-40% bila desain bangunan melibatkan penggunaan unsur tanaman dan air. Penelitian menegaskan bahwa aspek desain bangunan sangat berpengaruh terhadap penggunaan energi listrik, dan berkontribusi pada kepedulian terhadap pemanasan global dunia.

ARTICLE HISTORY

Received: February 10, 2023

Accepted: March 5, 2023

Published: March 7, 2023

KEYWORDS

Bangunan Hemat Energi, Konfigurasi Arsitektural, listrik, Pemanasan Global.

CORRESPONDING AUTHOR

Sri Endayani

Email: nd4.70des@gmail.com

How to cite: Stefano, A. & Endayani, S. (2023). Studi Tentang Pemodelan Bangunan Ditinjau Dari Aspek Teknis (Studi Kasus: Bangunan di Daerah Tropis). *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Sciences (JGETS)*, 1(2), 66 - 75. <https://doi.org/10.51967/gets.v1i2.14>

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya emisi CO² di atmosfer, diperkirakan tahun 2050 permukaan air laut akan naik 5 M. Ini akan menyebabkan banyak pulau-pulau atau dataran pantai yang hilang. Global warming merupakan salah satu bencana yang harus segera diatasi secara komprehensif (Ball et al., 2020; Bamdad et al., 2020; Brunetti & Brunetti, 2020). Menggunakan energi listrik dengan

berbahan bakar tak terbarukan berpotensi meningkatkan emisi CO² (Evins et al., 2018; Fathollahzadeh et al., 2020; Gagnon et al., 2018). International Energy Agency melaporkan di tahun 2019, bahwa penyebab emisi CO², 19% bersumber dari konsumsi listrik, 70% karena emisi dari kendaraan bermotor (Gasparella & Mahdavi, 2020; Ghiaus & Alzetto, 2019; Ghofrani et al., 2020). Dari data yang didapatkan bahwa pengadaan listrik di Indonesia,

CONTACT Sri Endayani ✉ nd4.70des@gmail.com

© 2023 The Author(s). Published by Tanesa Press, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda. This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits, unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

masih didominasi pemakaian bahan bakar yang berpotensi dalam meningkatnya emisi CO², hal ini menjadi tantangan dalam pengembangan sumber daya lainnya yang dapat meminimalkan dampak emisi CO² berkonsep ramah lingkungan (Lanahan et al., 2018; Leroux et al., 2018; Lowcay et al., 2020) (Gambar 1).



Gambar 1. Letak Geografis Indonesia

Konsep memperoleh energy listrik berwawasan lingkungan menjadi pendekatan dalam mengatasi pemanasan global (Mahdavi & Mahdavi, 2020; Masi et al., 2020; Menberg et al., 2018). Dilihat dari pengguna listrik terdapat 90% berasal dari rumah tinggal, ada 30 juta dari 33 juta pelanggan PLN seluruh Indonesia, selain itu dari sektor bisnis, sosial, perkantoran dan industri (Mendes et al., 2019; Murano et al., 2018; Nagpal et al., 2018). Maka sasaran di tingkat rumah tinggal atau kelompok sektor perumahan menjadi pendekatan utama untuk meminimalisir masalah pemanasan global yang harus segera ditangani (Ouf et al., 2020; Pernigotto et al., 2019; Ren et al., 2020). Apabila tidak segera ditangani, dengan keberadaannya perumahan yang semakin meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah penduduk, maka dapat dibayangkan tantangan untuk mendinginkan bumi semakin sulit atau bumi akan semakin panas (Salazar & Sanz-calcedo, 2018; Saloux et al., 2018; Salvati et al., 2020).

Di era modern, kehadiran listrik menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Segala kebutuhan hidup menggunakan energi listrik, bahkan untuk tempat berlindung pun dalam usaha menciptakan kenyamanan (Saouri et al., 2020; Sardoueinassab et al., 2020; Sousa et al., 2020). Perubahan lingkungan bergradasi ke arah kehancuran, pohon banyak ditebangi, ruang terbuka hijau semakin menyempit, bahkan area taman berubah menjadi area hunian, daerah pegunungan sudah banyak bangunan ber-AC (*Air Conditioner*) yang menyebabkan panasnya bumi (Terms, 2020; Togashi, 2018; Xie et al., 2018). Kegagalan dalam merancang bangunan atau hunian dengan tidak mempertimbangkan iklim setempat, menyebabkan listrik menjadi energi utama dalam

bangunan tersebut (Saouri et al., 2020; Sardoueinassab et al., 2020; Sousa et al., 2020). Bila bangunan bergantung pada energi, di saat terjadi listrik padam, maka padam pula aktivitas yang terjadi di dalamnya, dan kondisi sangat panas tidak nyaman (Salazar & Sanz-calcedo, 2018; Saloux et al., 2018; Salvati et al., 2020). Dalam hitungan beberapa detik suhu dalam ruangan menjadi meningkat tajam (Ouf et al., 2020; Pernigotto et al., 2019; Ren et al., 2020).

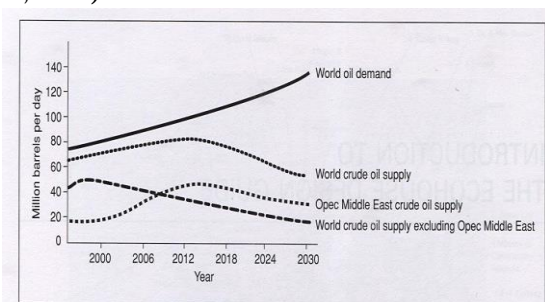
Lonjakan harga bahan bakar minyak (BBM) dan listrik tampaknya tidak dapat dielakkan lagi dalam masa mendatang (Mendes et al., 2019; Murano et al., 2018; Nagpal et al., 2018). Hal ini disebabkan oleh semakin menipisnya cadangan minyak bumi di Indonesia. Konsekuensinya, sejumlah besar bangunan tinggi dan bangunan lainnya di kota besar akan kesulitan menutup biaya operasional gedung untuk suplai listrik (Mahdavi & Mahdavi, 2020; Masi et al., 2020; Menberg et al., 2018). Sekitar 30% pasokan energi nasional dikonsumsi oleh sektor bangunan. Jumlah ini cukup berarti untuk diperhitungkan dalam upaya penghematan energi nasional (Lanahan et al., 2018; Leroux et al., 2018; Lowcay et al., 2020). Akibat keterbatasan pengetahuan dan kekeliruan dalam mengadopsi rancangan arsitektur dari negara-negara barat, cukup banyak bangunan di kota besar di Indonesia dirancang tanpa pertimbangan energi. Akibatnya menjadi boros energy (Gasparella & Mahdavi, 2020; Ghiaus & Alzetto, 2019; Ghofrani et al., 2020). Pada masa awal kehidupan, jenis dan ragam aktivitas manusia masih terbatas. Kegiatan manusia masih sebatas pada hal-hal yang terkait dengan pemenuhan kebutuhan dasar hidup: mencari bahan makan, makan, melangsungkan keturunan, melakukan kegiatan ritual, membuat tempat berlindung (tempat berteduh) dari iklim setempat, dari serangan binatang buas ataupun serangan manusia lain (Evins et al., 2018; Fathollahzadeh et al., 2020; Gagnon et al., 2018).

Penggunaan energi masih terbatas dari sumber-sumber yang ada di alam tanpa ada pengolahan: panas matahari, angin, aliran sungai, kayu dan lainnya. Ketika kehidupan berkembang, bentuk aktivitas berkembang dan ilmu pengetahuan serta teknologi pun berkembang, alternatif sumber energi juga berkembang dan menjadi semakin beragam (Ball et al., 2020; Bamdad et al., 2020; Brunetti & Brunetti, 2020). Batu bara dan minyak mulai digunakan sebagai sumber energi yang dapat menggantikan tenaga manusia, hewan, ataupun digunakan sebagai bahan bakar pengganti kayu atau bahan tumbuhan lain (Evins et al., 2018; Fathollahzadeh et al., 2020; Gagnon et al., 2018). Aktifitas-aktifitas baru mulai bermunculan, baik dalam bentuk olah raga, kesehatan, hiburan, ilmu

pengetahuan, peralatan perang, dan lainnya, yang sebagian besar memerlukan energi yang bersumber dari BBM (Gasparella & Mahdavi, 2020; Ghiaus & Alzetto, 2019; Ghofrani et al., 2020). Perkembangan industri dunia mulai menapak maju ketika James Watt menemukan mesin uap yang lebih efektif pada tahun 1769 (Lanahan et al., 2018; Leroux et al., 2018; Lowcay et al., 2020). Demikian pula ketika Charles Parson menemukan turbin uap tahun 1884 yang mempermudah manusia merubah energi panas menjadi energi mekanik (gerak) (Mahdavi & Mahdavi, 2020; Masi et al., 2020; Menberg et al., 2018), lonjakan industri dan teknologi tidak terbendung lagi. Muncul aktifitas-aktifitas baru manusia sebagai konsekuensi munculnya produk baru industri dan teknologi (Mendes et al., 2019; Murano et al., 2018; Nagpal et al., 2018).

Penemuan listrik sebagai energi yang dapat menggantikan hampir semua jenis energi sebelumnya menyodorkan berbagai alternative baru peralatan bantu manusia meningkatkan ketergantungan manusia terhadap penggunaan energi dari sumber yang tidak terbarukan (bahan bakar minyak) (Ouf et al., 2020; Pernigotto et al., 2019; Ren et al., 2020). Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang dicapai manusia bukan saja membuat kehidupan manusia menjadi semakin mudah dan nyaman, namun di sisi lain ternyata menciptakan ketergantungan manusia terhadap penggunaan energi secara besar-besaran (Salazar & Sanz-calcedo, 2018; Saloux et al., 2018; Salvati et al., 2020).

Celakanya, lonjakan kebutuhan energi yang sebagian besar bersumber dari BBM justru diikuti dengan penurunan pasokan minyak mentah yang dihasilkan dunia. Kian waktu, jumlah kandungan minyak di perut bumi semakin menipis akibat eksploitasi terus menerus secara besar-besaran. Gap antara jumlah kebutuhan dan pasokan semakin membesar, yang pada saatnya BBM akan sulit didapat meskipun dengan harga yang sangat tinggi sekalipun (Saouri et al., 2020; Sardoueinassab et al., 2020; Sousa et al., 2020).



Gambar 2. Grafik Kebutuhan dan Pasokan Minyak Dunia (juta barrel/hari)

Gambar 2 memperlihatkan grafik lonjakan kebutuhan sumber energi BBM dunia, serta jumlah pasokan yang dapat dipenuhi (Terms, 2020; Togashi, 2018; Xie et al., 2018). Kebutuhan BBM kian waktu kian bertambah sedangkan kemampuan pasokan semakin menurun. Kelangkaan pasokan BBM tidak dapat dihindari lagi. Konsekuensi logis adalah terjadinya lonjakan harga BBM serta kenaikan tariff listrik yang sebagian besar masih diproduksi dari BBM (Saouri et al., 2020; Sardoueinassab et al., 2020; Sousa et al., 2020).

2. METODE

2.1. Mencegah Terjadinya Efek Rumah Kaca

Beberapa strategi umum dalam menekan penggunaan energi dalam bangunan (tanpa harus mengorbankan kenyamanan) adalah sebagai berikut (Salazar & Sanz-calcedo, 2018; Saloux et al., 2018; Salvati et al., 2020). Efek rumah kaca adalah akumulasi panas di dalam bangunan/ruang akibat radiasi matahari. Dinding-dinding transparan (kaca) yang ditembus oleh cahaya matahari langsung akan menimbulkan efek rumah kaca. Jika hal ini terjadi dalam bangunan dengan skala pemanasan yang besar, suhu dalam bangunan akan meningkat.

Untuk menurunkannya diperlukan mesin pengkondisian udara dengan kapasitas yang lebih besar dibanding jika bangunan tidak/atau sedikit mengalami efek rumah kaca. Energi untuk pendinginan akan menjadi besar akibat efek rumah kaca ini. Untuk mencegah efek rumah kaca, dinding-dinding transparan harus dihindari dari jatuhnya sinar matahari langsung.

2.2. Mencegah Terjadinya Akumulasi Panas Pada Ruang Antara Atap dan Langit-Langit

Bangunan dengan atap miring perlu dipikirkan untuk menghindari terjadinya akumulasi panas pada ruang antara penutup atap dengan langit-langit. Untuk itu ruang ini perlu diberi bukaan, sehingga memungkinkan aliran udara silang menyingkirkan panas yang terakumulasi ini. Jika hal ini tidak dilakukan ruang di bawah langit-langit akan panas, sehingga bangunan memerlukan energi ekstra (misalnya mesin pendingin) untuk menurunkan suhu ruang tersebut.

Pada sisi-sisi timur dan barat bangunan yang langsung berhadapan dengan jatuhnya sinar matahari sebaiknya diletakkan ruang-ruang yang berfungsi sebagai ruang antara guna mencegah aliran panas menuju ruang utama misalnya ruang kantor. Ruang-ruang antara ini dapat berupa ruang tangga, gudang, toilet, pantry, dan sebagainya.

Seandainya pada sisi timur dan barat bangunan tanpa dapat dihindari harus diletakkan ruang-ruang utama, maka untuk menghindari pemanasan pada ruang tersebut dinding-dinding ruang perlu diberi penghalang terhadap sinar matahari langsung. Atau dinding dibuat rangkap di mana di antara kedua dinding tersebut diberi ruang antara yang diberi lubang-lubang ventilasi. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap perilaku terms ruang utama di dalamnya, di mana suhu udara ruang akan lebih rendah secara mencolok dibanding hanya menggunakan dinding tunggal.

Karena permukaan keras (aspal, beton, dsb) cenderung merupakan material yang menyerap panas (kemudian dipancarkan kembali ke udara), maka suhu udara di atas permukaan keras yang terkena radiasi matahari cenderung lebih tinggi di banding dengan di atas rumput atau perdu misalnya. Penggunaan material keras sebagai penutup halaman, jalan, tempat parkir, dsb. akan menaikkan suhu udara di sekitar bangunan seandainya permukaan tersebut dibiarkan terbuka terhadap radiasi langsung matahari. Untuk itu permukaan dengan material padat/keras sebaiknya dilindungi (dipayungi) dari jatuhnya radiasi langsung matahari agar suhu udara sekitar bangunan tetap rendah.

Suhu udara minimum rata-rata Jakarta adalah 23^o C, dan ini terjadi pada malam menjelang pagi hari. Dalam rangka penghematan energi dalam bangunan potensi ini dapat dimanfaatkan dengan cara mengalirkan angin yang bersuhu rendah tersebut melalui dinding (yang dibuat rangkap-berongga) serta lantai (berongga, dengan *raised floor*). Tujuan dari pengaliran udara ini adalah menurunkan suhu massa bangunan (*building fabric*) serendah mungkin mendekati atau sama dengan suhu udara minimum tersebut.

Suatu ruang yang memiliki lantai, dinding dan langit-langit dengan suhu rendah lebih mudah mencapai kenyamanan meskipun suhu udara luar relatif tinggi, karena pada kenyataan sensasi suhu (*terms*) tidak saja ditentukan oleh suhu udara, namun juga oleh suhu radiasi permukaan ruang (lantai, dinding dan langit-langit). Beberapa percobaan model dengan simulasi komputer serta uji coba pada bangunan-bangunan baru telah membuktikan kemampuan teknik pendinginan malam hari ini dalam usaha menekan penggunaan energi dalam bangunan.

Estimasi harga satuan listrik sistem grid-connected dihitung dengan menggunakan metode yang sudah pernah diaplikasikan pada penelitian sebelumnya (Tarigan et al. 2015). Komponen biaya terdiri atas biaya modul, biaya keseimbangan sistem (*balance of system*) atau BOS, waktu hidup sistem, insentif, dan biaya

operasional dan perawatan (O&M). Biaya total per watt peak dari suatu sistem PLTS dapat dihitung dengan persamaan matematis yang diturunkan.

Perhitungan secara numerik dapat dilakukan untuk mengestimasi harga satuan listrik sistem PLTS (C) dengan rumusan berikut:

$$C_{pv} = \frac{\text{Levelized annual cost}}{\text{Electricity production per year}} \quad (1)$$

Levelized annual cost dari suatu sistem PLTS grid-connected terdiri atas biaya operasional dan perawatan, biaya tahunan pengembalian modal, asuransi, pajak, dan lain sebagainya. Biaya tahunan pemulihan modal yang kembali dapat diperhitungkan sebagai komponen biaya modal C_c dan factor pemulihan modal dengan hubungan (Salazar & Sanzalcedo, 2018; Saloux et al., 2018; Salvati et al., 2020).

$$\text{Annual cost of capital recovery} = C_c \left(\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \right) \quad (2)$$

Dengan C_c adalah biaya modal awal, r adalah tingkat suku bunga, dan t adalah waktu hidup sistem. Jika komponen biaya operasional dan perawatan (O&M) tahunan di asumsikan n kali biaya modal, sedangkan asuransi, pajak, dan lain sebagainya adalah m kali biaya modal, dengan 0<m, n<1 maka level zed annual cost dapat dinyatakan sebagai:

$$C_{annual} = C_c \left(\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + n + m \right) \quad (3)$$

Berdasarkan factor kapasitas pemanfaatan, (capacity utility factor), F sebuah sistem PLTS, produksi listrik tahunan (annual) dapat di estimasi dengan persamaan berikut:

$$\text{Annual} = 8,760 \times (\text{maximum system power PLTS}) \times F \quad (4)$$

Persamaan biaya listrik per unit yang dihasilkan oleh sebuah sistem PLTS grid-connected, C_{pv}, dapat disederhanakan dengan menyatakan total biaya modal C_c sebagai hasil kali dari daya maksimum dan biaya total per watt peak, C_{pw}, sebagai berikut:

$$C_{pv} = \frac{C_c \left(\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \right)}{8,760 \times F} \quad (5)$$

Perhitungan numerik dilakukan dengan menggunakan persamaan (5) untuk mengestimasi biaya listrik per unit dari suatu sistem PLTS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu nyaman untuk daerah beriklim tropis lembap diperkirakan berkisar antara 22° s/d 27°C, sementara itu beberapa penelitian suhu nyaman di daerah Asia Tenggara memperlihatkan suatu 'range' antara 24° s/d 30°C. Hasil penelitian kenyamanan suhu yang pernah dilakukan oleh Mom di Bandung pada tahun 1930-an memperlihatkan suhu nyaman pada sekitar 26°-27°C.

Penelitian suhu nyaman paling akhir yang dilakukan di Indonesia (Jakarta) oleh Karyono dan untuk sementara dibakukan oleh Tim Peneliti Kenyamanan termal dari Maquarie University Australia, University of California Berkley Amerika serta Institusi Standard Pengkondisian Udara Amerika, ASHRAE memperlihatkan suhu nyaman karyawan/wati di Jakarta berada pada 26,4°C dengan deviasi $\pm 2^\circ\text{C}$, atau antara 24,4 hingga 28,4°C. Yang menjadi pertanyaan sekarang, apakah mungkin suhu di dalam ruang (*internal climate*) dapat mencapai angka 28,4°C (batas atas suhu nyaman penelitian Karyono) sementara suhu udara luar siang hari berada pada 32°C.

Dari simulasi komputer terhadap efek pendinginan malam hari (*night passive cooling*) yang dilakukan oleh Cambridge Architectural Research Limited diperoleh suatu hasil bahwa penurunan suhu hingga 3°C dapat dicapai pada bangunan yang menggunakan massa berat (beton, bata) meskipun seandainya perbedaan suhu siang dan malam hanya berkisar 8°C (perbedaan suhu siang dan malam di Jakarta dapat mencapai 10°C). Sementara itu penelitian Parker dan Akbari di Amerika Serikat memperlihatkan bahwa dengan penanaman pohon lindung di sekitar rumah tinggal, penggunaan energi (listrik) untuk AC dapat berkurang dari 30 hingga 50%.

Dengan mengekuivalenkan 10% pengurangan energi setara dengan penurunan suhu sekitar 0,7 hingga 1°C, dapat disimpulkan bahwa penurunan suhu sekitar hingga 3°C merupakan suatu hal yang sangat mungkin apabila ruang terbuka sekitar bangunan di penuhi dengan pohon pelindung atau bahkan dihindarkan, dengan pengertian halaman, jalan access dan halaman parkir terlindung dari sengatan langsung radiasi matahari.

Dari kedua teknik di atas, yakni pendinginan malam hari serta penghijauan sekitar bangunan, suhu udara dalam bangunan, *secara teoretis*, dapat turun hingga 6°C. Seandainya suhu udara kota Jakarta pada

siang hari berkisar pada 32°C, maka bukanlah sesuatu hal yang mustahil untuk mencapai suhu nyaman di dalam bangunan yang berada di bawah angka 28,4°C (Lanahan et al., 2018; Leroux et al., 2018; Lowcay et al., 2020).

3.1. Energi dan Sumber Pembangkit Tenaga Listrik

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi selalu konstan jumlahnya, tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Energi hanya dapat berubah bentuk dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain misalnya dari energi kimia ke energi listrik, energi listrik ke energi mekanik, dan sebagainya. Konsumsi energi akan selalu diartikan sebagai 'konversi' (perubahan bentuk) energi. 'Kelangkaan' energi mengindikasikan minimnya jumlah energi (dalam bentuk) tertentu misalnya energi kimia (dalam bentuk BBM), yang dapat 'di konversikan' ke energi lain, misalnya listrik.

Sumber pembangkit listrik saat ini masih didominasi oleh BBM. Nuklir merupakan sumber energi lain diluar BBM yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Energi nuklir relatif bersih ketika dikonversi ke energi listrik, dengan harga cukup bersaing setelah digunakan beberapa waktu. Namun kelemahan teknologi pembuangan limbah radioaktif ini masih menjadi perdebatan para ilmuwan, politisi dan wakil rakyat di banyak negara. Limbah buangan nuklir diperkirakan tetap akan bersifat radioaktif selamanya. Tenaga surya merupakan alternatif paling aman.

Tenaga (energi) surya merupakan energi yang berasal langsung dari radiasi matahari, seperti halnya panas matahari, energi listrik yang dibangkitkan dari photovoltaic, serta jenis tenaga yang terbentuk sebagai akibat (efek) langsung atau tidak langsung dalam jangka yang relatif pendek dari radiasi matahari, seperti halnya tenaga air/ombak dan tenaga angin. Konversi tenaga surya ke tenaga listrik tidak akan diikuti dengan limbah. Dari sekian kemungkinan pemanfaatan tenaga surya secara aktif (di konversikan ke energi listrik), teknologi photovoltaic merupakan yang paling populer digunakan dalam bangunan.

Tidak sedikit bangunan terutama di Eropa Barat yang memanfaatkan photovoltaic bagi kebutuhan seluruh atau sebagian energi listrik dalam bangunannya. Sementara itu, di Indonesia, penggunaan photovoltaic bagi suplai energi listrik masih sangat sedikit. Penggunaannya terbatas pada daerah yang letaknya terpencil dan belum mendapat aliran listrik dari PLN (Mahdavi & Mahdavi, 2020; Masi et al., 2020; Menberg et al., 2018).

3.2. Lemahnya Pertimbangan Energi dalam Rancangan Bangunan

Cukup banyak bangunan di Indonesia yang dirancang tanpa pertimbangan penghematan energi sehingga berkonsekuensi terhadap tingginya biaya operasional listrik setiap bulannya. Jika bangunan dirancang tanpa pertimbangan energi, maka kesulitan akan muncul di kemudian hari, yakni dalam hal menanggulangi beban operasional listrik yang tinggi. Gedung Pusat Peragaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PP Iptek) di Taman Mini merupakan salah satu contoh bangunan yang boros energi.

Pengelola gedung menghadapi kesulitan terhadap tingginya biaya energi (listrik). Bangunan ini gagal sebagai model keandalan iptek karena dirancang tanpa memanfaatkan ilmu pengetahuan (sains) bangunan dan mengabaikan iklim setempat (tropis basah), sehingga boros energi. Gedung tiga lantai berbentuk lingkaran ini dengan luas total sekitar 23.000 m² menggunakan atap transparan tembus sinar matahari langsung.

Atap ini mengakibatkan 'efek rumah kaca' dan memanasi ruang di bawahnya. Suhu udara dalam bangunan melonjak hingga di atas 36 C. Untuk menurunkan suhu yang tinggi ini diperlukan mesin AC dengan kapasitas besar. Meskipun hanya mengoperasikan 30% mesin AC dan menutup sebagian ruang peraga, bangunan ini masih memikul biaya listrik lebih dari 80 juta rupiah per-bulan (Mendes et al., 2019; Murano et al., 2018; Nagpal et al., 2018) (Gambar 3).



Gambar 3. A. Penggunaan AC, B. Menggunakan Tanaman untuk Mendinginkan Hunian

3.3. Penghematan Energi Dalam Bangunan

Penelitian terhadap pencahayaan buatan beberapa ruang kelas di kampus Universitas Trisakti yang dilakukan Candy Yuniarti memperlihatkan bahwa dengan susunan lampu yang tepat disesuaikan dengan letak jendela (sumber cahaya alami), penggunaan lampu (penerangan buatan) sesungguhnya dapat dikurangi, tanpa harus mengorbankan kenyamanan visual siswa di ruang kelas. *Switch on-off* perlu dipertimbangkan terhadap pengelompokan lampu.

Deretan lampu yang ditempel pada ceiling dekat jendela sebaiknya dikelompokkan menjadi satu,

sementara deretan lampu ceiling 'bagian dalam' yang berjauhan dengan jendela sebaiknya berada pada kelompok lain. Ketika udara cerah-siang hari, kelompok lampu dekat jendela dapat dimatikan tanpa mengganggu kebutuhan penerangan siswa di area tersebut. Penelitian Bahri dan Karyono di Gedung BEJ memperlihatkan bahwa peningkatan suhu '*chilled water*' sebesar 1°C pada sistem pendingin udara sentral dapat menurunkan sekitar 7.5% konsumsi energi dalam bangunan tersebut.

Manajemen energi juga dapat membantu penghematan energi dalam bangunan. Melalui *building automatic system* (BAS) penggunaan energi dapat diatur dan ditargetkan. Salah satu contoh adalah dengan penjadwalan waktu kerja mesin AC, penjadwalan kerja mesin lift, penjadwalan penerangan bangunan, dan sebagainya. Penggunaan air laut dalam (dengan suhu rendah) sebagai *chilled water* dalam sistem pengkondisian udara dilaporkan dapat menghemat energi listrik hingga 86% bagi sistem pendingin udara. Air laut dalam yang direncanakan akan digunakan dalam sistem pendinginan bangunan di pusat kota

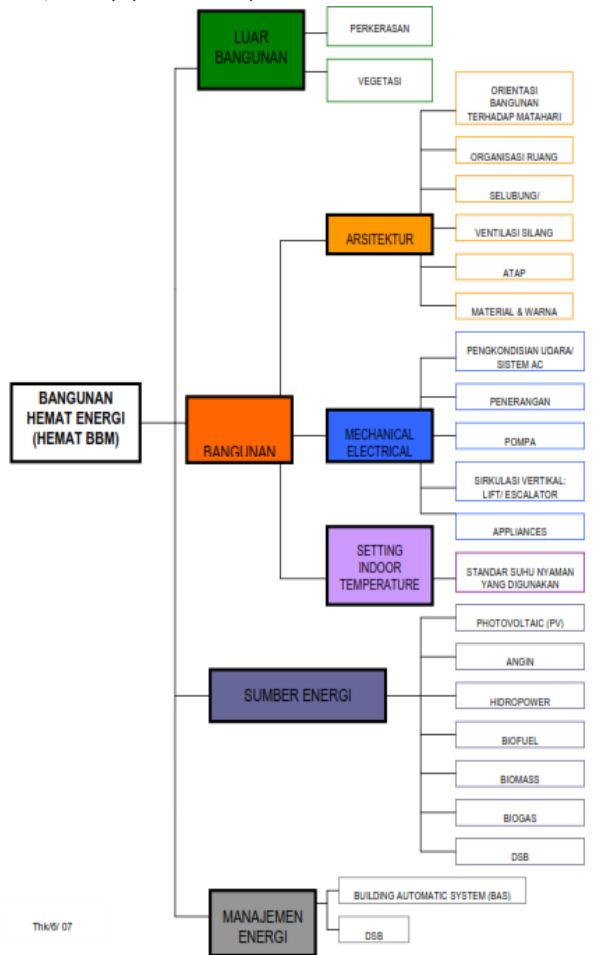
Honolulu diperkirakan akan memangkas sekitar 75% energi listrik untuk sistem pendinginan udara bangunan. Sistem serupa yang telah dioperasikan di Cornell University, Ithaca, New York sejak tahun 2000 dengan mengambil air dalam Danau Cayuga menghemat sekitar 86% energi dibanding dengan sistem konvensional. Meskipun secara umum sistem yang diuraikan di atas hanya terkait dengan aspek utilitas bangunan, aspek rancangan bangunan sedikit-banyak akan terpengaruh. Misalnya penyediaan ruang untuk BAS, penyediaan cerobong-cerobong (*shaft*) tambahan untuk kabel dan pipa.

Salah satu hal penting yang tidak disadari manusia terhadap pemborosan energi adalah perilaku manusia sendiri. Pemborosan energi seringkali justru disebabkan oleh ketidakpedulian manusia terhadap pemakaian energi secara hemat. Beberapa contoh pemborosan energi (listrik) dalam kehidupan sehari-hari:

- Tidak mematikan lampu ketika ruangan tidak digunakan
- Tidak mematikan TV, atau peralatan listrik ketika tidak digunakan
- Mengenakan pakaian tebal (jaket, jas) di dalam ruang sehingga memerlukan suhu rendah (supaya tidak panas). Akibatnya suhu ruang (ber-AC) diatur rendah.

Suatu rancangan bangunan dikatakan hemat energi apabila dalam mencapai kenyamanan ruang (termal dan visual) bangunan tersebut hanya menggunakan energi (primer) dalam jumlah yang relatif rendah

(Saouri et al., 2020; Sardoucinasab et al., 2020; Sousa et al., 2020) (Gambar 4).



Gambar 4. Struktur Hemat dalam Penggunaan Listrik

3.4. Bangunan Hemat Energi

Salah satu sektor penting yang sangat berpengaruh terhadap penggunaan BBM dan listrik adalah bangunan. Bangunan berperan sebagai alat pencapaian kenyamanan fisik manusia, dengan cara memodifikasi lingkungan alamiah yang tidak diinginkan menjadi lingkungan buatan yang nyaman. Bangunan merupakan 'filter' (penyaring) faktor-faktor alamiah yang menyebabkan ketidaknyamanan: hujan, terik matahari, angin kencang, udara panas tropis agar tidak masuk ke dalam bangunan.

Untuk memfilter faktor iklim yang tidak dikehendaki, tidak jarang bangunan dilengkapi dengan peralatan mekanis. Udara luar yang panas dimodifikasi oleh bangunan-dengan bantuan mesin AC menjadi udara dingin. Dalam hal ini dibutuhkan energi listrik untuk menggerakkan mesin AC. Demikian juga halnya bagi penerangan malam hari atau ketika langit mendung, diperlukan energi listrik untuk lampu penerang. Penghematan energi melalui rancangan arsitektur mengarah pada penghematan penggunaan listrik, baik bagi pendinginan udara, penerangan buatan, atau peralatan listrik lain dalam bangunan.

Bagaimana arsitektur bangunan sedemikian rupa dirancang agar ruangan cukup terang tanpa banyak menggunakan lampu dan agar udara dalam ruang dapat sejuk tanpa bantuan mesin AC. Bagaimana penerangan dan pendinginan udara dapat dilakukan secara alamiah tanpa menggantungkan peralatan listrik yang konsumtif terhadap energi yang bersumber dari BBM.

Dengan strategi perancangan tertentu, bangunan dapat memodifikasi iklim luar yang tidak nyaman menjadi iklim ruang yang nyaman tanpa banyak mengkonsumsi energi listrik yang bersumber dari BBM. Kebutuhan energi per kapita dan nasional dapat ditekan jika secara nasional bangunan dirancang dengan konsep hemat energi. Pengertian bangunan hemat energi lebih merujuk pada penghematan energi yang tidak terbarukan.

Penghematan ini dapat berupa penekanan penggunaan energi (listrik) yang bersumber dari BBM, atau menggunakan energi listrik non-BBM dan tergolong sebagai sumber energi terbarukan seperti halnya solar sel. Perancangan arsitektur hemat energi dapat dilakukan dengan dua cara: secara pasif dan aktif. Perancangan pasif merupakan salah satu cara penghematan penggunaan energy melalui pemanfaatan energi matahari secara pasif tanpa mengonversikan energi matahari menjadi energi listrik.

Rancangan pasif lebih mengandalkan kemampuan arsitek, bagaimana agar rancangan bangunan mampu dengan sendirinya 'memodifikasi' kondisi iklim luar yang tidak nyaman menjadi ruang di dalam bangunan yang nyaman (Gambar 5).



Gambar 5. Suasana Ruang di Balkon Bangunan

Strategi perancangan pasif di daerah beriklim dingin diarahkan untuk mengambil panas matahari sebanyak mungkin bagi pemanasan bangunan saat musim dingin, bidang-bidang transparan (kaca) di arahkan pada sisi datangnya sinar matahari. Untuk kawasan di utara khatulistiwa (Eropa, Amerika Utara, dsb.), dinding transparan diarahkan ke sisi selatan, sementara untuk kawasan di selatan khatulistiwa (Australia, New Zealand) dinding transparan diarahkan ke sisi utara. Masuknya cahaya langsung matahari ke dalam

bangunan akan membantu menaikkan suhu ruangan (akibat efek rumah kaca) dan menaikkan intensitas penerangan ruang (Ball et al., 2020; Bamdad et al., 2020; Brunetti & Brunetti, 2020).

Salah satu bangunan yang dianggap berhasil menerapkan strategi perancangan pasif di kawasan iklim sub tropis adalah gedung Bank NMB di Amsterdam. Gedung Bank NMB dirancang oleh arsitek Anton Alberts, dibangun tahun 1978 di kawasan tepi kota Amsterdam, dirancang tanpa AC. Tapak bangunan dipilih oleh karyawan yang bekerja di bank ini melalui voting. Pemilihan tapak lebih banyak dipertimbangkan terhadap kedekatan tempat tinggal karyawan.

Dengan luas sekitar 50.000m² plus 28.000m² parkir di basement, dan panjang bangunan hampir 1 Km, bangunan ini mengakomodasi sekitar 2000 orang staf. Dengan level penerangan sekitar 500lux (sebagian besar berasal dari cahaya luar), bangunan ini mengkonsumsi sekitar 111 kWh/m² /tahun. Sekitar 90% lebih rendah dibanding gedung NMB lama dengan konsumsi energi sebesar 1.320 kWh/m² /tahun, yang mulai digunakan tahun 1970-an. Bangunan ini menghemat biaya operasional sekitar 1.3 juta poundsterlings (atau 2 miliar rupiah) per-tahun.

Strategi perancangan pasif di wilayah tropis basah seperti Indonesia menggunakan strategi yang berlawanan. Radiasi matahari yang jatuh ke bangunan harus dicegah atau dikurangi tanpa harus mengorbankan kebutuhan penerangan alami. Komponen sinar matahari yang terdiri atas cahaya dan panas hanya dimanfaatkan komponen 'cahaya' nya dan menepis panasnya.

Beberapa bangunan di Indonesia terutama bangunan-bangunan lama dirancang dengan strategi perancangan pasif. Karya Soejoedi (Kedutaan Perancis di Jakarta, gedung Depdiknas Pusat), karya Silaban (Masjid Istiqlal, Bank Indonesia), Gedung S. Widjojo yang terletak di jalan Sudirman, Jakarta, serta sebagian besar bangunan colonial karya beberapa arsitek Belanda, merupakan beberapa contoh di antaranya. Gedung S. Widjojo merupakan contoh rancangan pasif arsitektur tropis basah.

Pemanasan matahari ditahan oleh *sun's shadings* (kisi-kisi penghalang radiasi matahari) yang menutup hampir seluruh selubung bangunan. Secara perhitungan, penempatan kisi-kisi ini dapat mengurangi sekitar 30% beban pendinginan AC. Cahaya alami masih dimungkinkan masuk secara tidak langsung melalui jendela kaca di balik kisi-kisi tersebut.

Sementara itu gedung Kedutaan Besar Perancis karya Soejoedi yang terletak di sudut jalan Thamrin dan Sunda menghadapkan muka bangunan ke jalan utama

jalan Thamrin, namun justru ke jalan Sunda yang lebih sempit.

Pemikiran sang arsitek dengan mudah terbaca, bahwa bangunan ini ingin dihadapkan pada sisi Utara-Selatan. Orientasi ini merupakan solusi iklim terbaik di daerah khatulistiwa. Penetrasi radiasi matahari melalui jendela kaca diminimalkan sementara area dinding bangunan yang menerima radiasi matahari juga diperkecil, 'perolehan panas' bangunan menjadi kecil, artinya pemanasan radiasi matahari terhadap bangunan minimal. Diharapkan suhu udara di dalam bangunan menjadi rendah. Konsekuensinya beban pendinginan AC rendah dan energi listrik yang digunakan juga rendah.

Dalam rancangan aktif, energi matahari di konversikan menjadi energi listrik oleh solar sel, kemudian energi listrik inilah yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi bangunan. Dalam perancangan secara aktif, secara simultan arsitek juga harus menerapkan strategi perancangan secara pasif. Tanpa penerapan strategi perancangan pasif, penggunaan energi dalam bangunan akan tetap tinggi apabila tingkat kenyamanan termal dan visual harus dicapai. Beberapa contoh bangunan yang dirancang dengan pendekatan aktif di antaranya adalah rumah tinggal Prof. Susan Roaf di Oxford, Inggris dan Pavilion Inggris di Expo 92 di Sevilla, Spanyol.

4. KESIMPULAN

Cepat atau lambat, bangunan yang boros energi tidak akan berfungsi. Bangunan akan terlalu mahal untuk digunakan. Sudah waktunya arsitek memikirkan rancangan bangunan yang hemat energi. Teknis pemecahan rancangan bangunan hemat energi di Indonesia (yang didominasi oleh iklim tropis basah) berbeda dengan bangunan di kawasan sub tropis. Hal ini perlu disadari oleh para arsitek di Indonesia, agar dalam mengadopsi bentuk, konsep rancangan arsitektur dari negara barat (yang umumnya beriklim sub tropis) tidak terjebak dalam kekeliruan yang mendasar.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan telah memberikan dukungan melalui pembiayaan Sertifikasi Dosen (SERDOS) untuk kegiatan penelitian dan pengabdian pada masyarakat.

6. REFERENSI

Ball, B. L., Long, N., Fleming, K., & Balbach, C. (2020). *An open source analysis framework for large-scale building energy modeling An open source analysis*

- framework for large-scale building energy modeling. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1778788>
- Bamdad, K., Cholette, M. E., Bell, J., & Bell, J. (2020). *Building energy optimization using surrogate model and active sampling*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1821094>
- Brunetti, G. L., & Brunetti, G. L. (2020). *Increasing the efficiency of simulation-based design explorations via metamodelling* *Increasing the efficiency of simulation-based design explorations via metamodelling*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1707875>
- Evins, R., Alexandra, R., Wiebe, E., Wood, M., Eames, M., Evins, R., Alexandra, R., Wiebe, E., Wood, M., & Eames, M. (2018). The impact of local variations in a temperate maritime climate on building energy use. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1536167>
- Fathollahzadeh, M. H., Tabares-velasco, P. C., & Tabares-velasco, P. C. (2020). *Building control virtual test bed and functional mock-up interface standard: comparison in the context of campus energy modelling and control ABSTRACT*. 1493(May). <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1769191>
- Gagnon, R., Gosselin, L., Park, S., Stratbücker, S., Gagnon, R., Gosselin, L., Park, S., & Stratbücker, S. (2018). *Comparison between two genetic algorithms minimizing carbon footprint of energy and materials in a residential building*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1501095>
- Gasparella, A., & Mahdavi, A. (2020). *Special issue on the microclimatic boundary conditions in building simulation models*. 1493, 2019–2021. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1698137>
- Ghiaus, C., & Alzetto, F. (2019). Design of experiments for Quick U-building method for building energy performance measurement. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1561753>
- Ghofrani, A., Nazemi, S. D., & Jafari, M. A. (2020). *Prediction of building indoor temperature response in variable air volume systems ABSTRACT*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1688393>
- Lanahan, M., Engert, S., Kim, T., Tabares-velasco, P. C., Lanahan, M., Engert, S., Kim, T., & Tabares-velasco, P. C. (2018). Rapid visualization of the potential residential cost savings from energy storage under time-of-use electric rates. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1470203>
- Leroux, G., Mendes, N., Stephan, L., Pierrès, N. Le, Leroux, G., Mendes, N., Stephan, L., & Pierrès, N. Le. (2018). *Innovative low-energy evaporative cooling system for buildings: study of the porous evaporator wall*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1501094>
- Lowcay, D., Gunay, H. B., Brien, W. O., Gunay, H. B., & Brien, W. O. (2020). *Simulating energy savings potential with high-resolution daylight and occupancy sensing in open-plan offices and occupancy sensing in open-plan offices*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1807604>
- Mahdavi, A., & Mahdavi, A. (2020). *In the matter of simulation and buildings: some critical reflections*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1685598>
- Masi, R. F. De, Gigante, A., Ruggiero, S., Peter, G., Francesca, R., Gigante, A., Ruggiero, S., & Peter, G. (2020). *The impact of weather data sources on building energy retrofit design: case study in heating-dominated climate of Italian backcountry heating-dominated climate of Italian backcountry*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1725131>
- Menberg, K., Heo, Y., & Choudhary, R. (2018). *Influence of error terms in Bayesian calibration of energy system models*. 1493(May). <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1475506>
- Mendes, E., Mendes, N., & Mendes, E. (2019). An instructional design for building energy simulation e-learning: an interdisciplinary approach An instructional design for building energy simulation e-learning: an interdisciplinary approach. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1560500>
- Murano, G., Dirutigliano, D., & Corrado, V. (2018). Improved procedure for the construction of a Typical Meteorological Year for assessing the energy need of a residential building. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1479774>
- Nagpal, S., Mueller, C., Aijazi, A., & Reinhart, C. F. (2018). A methodology for auto-calibrating urban building energy models using surrogate modeling techniques. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–16. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1457722>
- Ouf, M. M., Brien, W. O., Gunay, H. B., Ouf, M. M., Brien, W. O., & Optimization, H. B. G. (2020). *Optimization of electricity use in office buildings under occupant uncertainty*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1680733>
- Pernigotto, G., Prada, A., Gasparella, A., Pernigotto,

- G., & Prada, A. (2019). *Extreme reference years for building energy performance simulation Extreme reference years for building energy performance simulation*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1585477>
- Ren, Z., Motlagh, O., & Chen, D. (2020). *A correlation-based model for building ground-coupled heat loss calculation using Artificial Neural Network techniques A correlation-based model for building ground-coupled heat loss calculation using*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1690581>
- Salazar, E. M. De, & Sanz-calcedo, J. G. (2018). *Study on the influence of maintenance operations on energy consumption and emissions in healthcare centres by fuzzy cognitive maps*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1543351>
- Saloux, E., Candanedo, J. A., & Candanedo, J. A. (2018). *Control-oriented model of a solar community with seasonal thermal energy storage: development, calibration and validation*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1523950>
- Salvati, A., Palme, M., Chiesa, G., & Kolokotroni, M. (2020). Built form, urban climate and building energy modelling: case-studies in Rome and Antofagasta. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1707876>
- Saouri, A. M., Bat, E., Romani, Z., & Bozonnet, E. (2020). *Integration of a practical model to assess the local urban interactions in building energy simulation with a street canyon energy simulation with a street canyon*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1818829>
- Sardoueinab, Z., Yin, P., & Neal, D. O. (2020). *Energy modeling and analysis of variable airflow parallel fan-powered terminal units using Energy Management System (EMS) in EnergyPlus ABSTRACT*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2019.1679260>
- Sousa, G., Robinson, D., & Robinson, D. (2020). *Enhanced EnHub: dynamic simulation of housing stock energy systems Enhanced EnHub: dynamic simulation of housing stock energy systems ABSTRACT*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1788641>
- Terms, F. (2020). *Exploring the use of traditional heat transfer functions for energy simulation of buildings using discrete events and quantized-state-based integration*. 1493. <https://doi.org/10.1080/19401493.2020.1723704>
- Togashi, E. (2018). Risk analysis of energy efficiency investments in buildings using the Monte Carlo method. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1523949>
- Xie, Y., Mendon, V., Halverson, M., Bartlett, R., Chen, Y., Rosenberg, M., Taylor, T., Liu, B., Xie, Y., Mendon, V., Halverson, M., Bartlett, R., Chen, Y., Rosenberg, M., Taylor, T., & Liu, B. (2018). Assessing overall building energy performance of a large population of residential single-family homes using limited field data. *Journal of Building Performance Simulation*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/19401493.2018.1477833>