

Efisiensi Energi *pada* **BANGUNAN GEDUNG HIJAU**

Panduan Perhitungan dan Implementasi



Ferry Firmawan, Ph.D. | Prof. Usep Surahman
Fahrudin Ahmad, M.Si. | Lala Anggraini, M.T.
Fadhila Khoirunissa R, S.T. | Aimmatul Husna, S.T.

Efisiensi Energi
pada
BANGUNAN
GEDUNG HIJAU

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi

Ferry Firmawan, Ph.D. | Prof. Usep Surahman
Fahrudin Ahmad, M.Si. | Lala Anggraini, M.T.
Fadhila Khoirunissa R, S.T. | Aimmatul Husna, S.T.

 Penerbit
litnus.

EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN GEDUNG HIJAU
Panduan Perhitungan dan Implementasi

Penulis: Ferry Firmawan, Ph.D. | Prof. Usep Surahman
Fahrudin Ahmad, M.Si. | Lala Anggraini, M.T.
Fadhila Khoirunissa R, S.T. | Aimmatul Husna, S.T.

ISBN: 978-623-127-338-3

Copyright ©Juni 2025
Ukuran: 15,5 cm X 23 cm; hlm: x + 164

Co-Writer: Dwi Nur Fatimah
Penyelas aksara: Umi Zanariyah
Desainer sampul: Kelvin Syuhada Lunivananda
Penata isi: Kelvin Syuhada Lunivananda

Cetakan I: Juni 2025

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
CV Literasi Nusantara Abadi
Perumahan Puncak Joyo Agung Residence Blok B11 Merjosari
Kecamatan Lowokwaru Kota Malang
Telp : +6285887254603, +6285841411519
Email: penerbitlitnus@gmail.com
Web: www.penerbitlitnus.co.id
Anggota IKAPI No. 209/JTI/2018

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak baik sebagian atau keseluruhan isi buku dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.



PRAKATA

Pembangunan gedung yang ramah lingkungan kini menjadi kebutuhan mendesak dalam upaya menjaga keberlanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Di tengah krisis energi dan meningkatnya kesadaran akan perubahan iklim, konsep bangunan gedung hijau atau “*green building*” telah menjadi standar baru yang diharapkan mampu mengoptimalkan efisiensi energi serta meminimalkan jejak karbon. Buku ini hadir sebagai panduan praktis untuk memahami dan menerapkan efisiensi energi pada bangunan gedung hijau, khususnya melalui perhitungan dan implementasi strategi yang melibatkan energi terbarukan.

Efisiensi energi pada bangunan gedung hijau tidak hanya mengurangi konsumsi energi dari sumber konvensional, tetapi juga membuka peluang besar untuk memanfaatkan energi terbarukan, seperti energi matahari, angin, dan biomassa. Dengan mengintegrasikan teknologi energi terbarukan, bangunan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, meningkatkan efisiensi operasional, serta menurunkan emisi gas rumah kaca. Buku ini membahas langkah-langkah konkret untuk menghitung kebutuhan energi gedung, merancang sistem energi terbarukan yang sesuai, dan menerapkan solusi efisiensi secara optimal.

Penulis berharap buku ini menjadi referensi yang berguna bagi para profesional, akademisi, maupun mahasiswa yang tertarik pada bidang

efisiensi energi dan bangunan gedung hijau. Semoga buku ini juga dapat menginspirasi lebih banyak pihak untuk bersama-sama membangun masa depan yang lebih berkelanjutan melalui desain dan teknologi bangunan yang hemat energi serta ramah lingkungan.



DAFTAR ISI

Prakata	v
Daftar Isi	vii

BAB I

KONSEP DAN URGENSI EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN	1
Definisi dan Ruang Lingkup Efisiensi Energi	1
Tujuan Efisiensi Energi dalam Bangunan.....	2
Manfaat Efisiensi Energi dalam Bangunan	3

BAB II

PRINSIP DAN STANDAR BANGUNAN GEDUNG HIJAU (<i>GREEN BUILDING</i>)	7
Prinsip Bangunan Gedung Hijau	7
Standar dan Sertifikasi Bangunan Gedung Hijau	10
Komponen Utama dalam Bangunan Gedung Hijau.....	14
Peran Teknologi dalam Bangunan Gedung Hijau.....	16

BAB III

EFISIENSI ENERGI DAN PEMANFAATAN ENERGI

TERBARUKAN DALAM BANGUNAN GEDUNG HIJAU	19
Faktor Penentu Efisiensi Energi	19
Energi Terbarukan dalam Bangunan Gedung Hijau	22
Analisis Konsumsi Energi pada Bangunan Gedung Hijau	26

BAB IV

PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI	31
Mengumpulkan Data Perhitungan Ulang Efisiensi Energi	31
Meninjau Perhitungan Dasar Efisiensi Energi pada Sarana dan Prasarana Bangunan Gedung Hijau	46
Memeriksa Hasil Perhitungan Efisiensi Energi	51

BAB V

STRATEGI MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI

DALAM BANGUNAN GEDUNG HIJAU	57
Desain Pasif untuk Efisiensi Energi	57
Optimalisasi Sistem <i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i> (HVAC)	62
Material Pendukung Efisiensi Energi	64
Pengelolaan Air dan Limbah untuk Efisiensi Energi	68
Penilaian Kinerja Energi Bangunan	71

BAB VI

PENERAPAN PRINSIP BANGUNAN GEDUNG HIJAU	75
Langkah-Langkah Implementasi Efisiensi Energi di Bangunan Gedung Hijau	75
Evaluasi Efisiensi Energi Pascakonstruksi	80

Bangunan Hemat Energi di Indonesia.....	85
Analisis Biaya dan Manfaat	91

BAB VII

TANTANGAN DAN SOLUSI IMPLEMENTASI

EFISIENSI ENERGI	97
Tantangan dalam Implementasi Efisiensi Energi pada	
Bangunan Gedung Hijau	97
Kendala Regulasi dan Dukungan Kebijakan.....	101
Rekomendasi dan Tren Masa Depan	104

BAB VIII

TRANSFORMASI BANGUNAN GEDUNG HIJAU

Manfaat Jangka Panjang Bangunan Gedung Hijau dengan	
Efisiensi Energi.....	109
Rekomendasi untuk Praktisi, Akademisi, dan Pemangku	
Kepentingan.....	111
Arah Pengembangan Bangunan Gedung Hijau	
di Masa Depan	111

BAB IX

BEST PRACTICE PENGHEMATAN ENERGI PADA GEDUNG BUMN, GEDUNG PEMERINTAHAN, DAN GEDUNG KAMPUS

Penghematan Energi di Gedung BUMN	113
Penghematan Energi di Gedung Pemerintahan	114
Penghematan Energi di Gedung Kampus	117
Rekomendasi Kebijakan dan Standar untuk Penghematan	
Energi di Gedung BUMN, Pemerintahan, dan Kampus	120

BAB X

APLIKASI PERHITUNGAN ENERGI, PENCAHAYAAN, DAN ENERGI TERBARUKAN PADA BANGUNAN	125
Aplikasi untuk Perhitungan Energi Gedung	125
Aplikasi untuk Perhitungan Pencahayaan di Gedung	128
Aplikasi untuk Perhitungan Penggunaan Energi Terbarukan	130
Perbandingan Aplikasi dan Pemilihan Aplikasi yang Tepat	133
 Glosarium.....	 137
Daftar Pustaka.....	143
Profil Penulis	151



BAB I

KONSEP DAN URGENSI EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN

Definisi dan Ruang Lingkup Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah penggunaan energi dengan cara yang bijak dan optimal sehingga hasil yang diinginkan tercapai tanpa harus menggunakan energi lebih banyak. Dengan kata lain, efisiensi energi memungkinkan suatu kegiatan atau proses tetap berjalan dengan baik tanpa meningkatkan konsumsi energi (Permatasari dkk., 2018). Penerapan efisiensi energi harus dilakukan secara menyeluruh dan mencakup berbagai sektor yang berkontribusi terhadap konsumsi energi. Oleh karena itu, ruang lingkup efisiensi energi mencakup berbagai sektor dan aspek yang berkaitan dengan penggunaan energi, baik di tingkat makro maupun mikro.

Pada tingkat makro, efisiensi energi berkaitan dengan kebijakan energi nasional yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan dan meningkatkan ketahanan energi suatu negara. Sementara itu pada tingkat mikro, efisiensi energi diterapkan dalam lingkungan yang

lebih spesifik, seperti bangunan, industri, serta rumah tangga melalui strategi dan teknologi yang dapat mengoptimalkan penggunaan energi dalam aktivitas sehari-hari.

Secara umum, Lestari (2022) membagi ruang lingkup efisiensi energi menjadi beberapa aspek utama, yaitu:

1. desain bangunan pasif yang hemat energi;
2. penggunaan material efisien dan berdaya guna tinggi;
3. pemakaian peralatan hemat energi; serta
4. penerapan teknologi energi terbarukan.

Secara keseluruhan, efisiensi energi berfokus pada mengurangi pemborosan energi, meningkatkan kualitas penggunaan energi, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi karbon. Efisiensi energi memiliki peran yang sangat penting dalam upaya mengatasi tantangan global, seperti perubahan iklim dan krisis energi.

Tujuan Efisiensi Energi dalam Bangunan

Tujuan efisiensi energi dalam bangunan merujuk pada alasan atau sasaran mengapa strategi efisiensi energi perlu diterapkan dalam desain, konstruksi, dan operasional bangunan. Menurut Handayani (2010), terdapat beberapa tujuan utama efisiensi energi dalam bangunan sebagaimana berikut.

1. Mengurangi konsumsi energi.

Bangunan sering kali mengonsumsi energi dalam jumlah besar untuk pencahayaan, pemanas, pendingin udara, dan peralatan lainnya. Melalui desain dan teknologi efisiensi energi, konsumsi energi dapat diminimalkan tanpa mengorbankan kenyamanan atau fungsi bangunan.

2. Mengurangi biaya operasional.

Pengurangan penggunaan energi langsung berhubungan dengan pengurangan biaya tagihan energi. Dalam jangka panjang, ini membantu pemilik bangunan untuk menghemat pengeluaran, meningkatkan profitabilitas, atau memberikan nilai lebih pada penghuni.

3. Meningkatkan kenyamanan penghuni.
Efisiensi energi tidak hanya berkaitan dengan penghematan biaya, tetapi juga berfokus pada peningkatan kenyamanan penghuni. Penggunaan teknologi seperti HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) yang efisien dan pengaturan suhu yang tepat akan menciptakan lingkungan dalam ruangan lebih nyaman bagi penghuni dengan suhu dan kelembapan yang lebih stabil.
4. Mengurangi dampak lingkungan.
Efisiensi energi berkontribusi pada pengurangan jejak karbon bangunan. Dengan menggunakan lebih sedikit energi, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berkurang. Oleh karena itu, salah satu tujuan utama adalah untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seiring dengan semakin meningkatnya perhatian terhadap perubahan iklim global.
5. Mendukung pembangunan berkelanjutan.
Efisiensi energi mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dengan menggunakan sumber daya secara lebih efisien dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Bangunan yang efisien energi berkontribusi pada konservasi sumber daya alam dan membantu mengurangi ketergantungan pada energi fosil.
6. Mematuhi regulasi dan kebijakan energi.
Beberapa negara memiliki regulasi yang mengatur efisiensi energi dalam bangunan, seperti standar bangunan gedung hijau atau kode bangunan yang ramah lingkungan. Tujuan efisiensi energi juga mencakup pemenuhan standar atau persyaratan yang ditetapkan oleh pemerintah atau badan regulasi.

Manfaat Efisiensi Energi dalam Bangunan

Manfaat efisiensi energi mengarah pada hasil atau dampak positif yang diperoleh dari penerapan efisiensi energi dalam bangunan. Manfaat ini tidak hanya dirasakan oleh pemilik atau penghuni bangunan, tetapi juga

dapat memiliki efek luas pada masyarakat dan lingkungan. Beberapa manfaat utama dari efisiensi energi dalam bangunan adalah sebagai berikut.

1. Penghematan biaya energi.

Dengan menggunakan teknologi yang lebih efisien dalam hal pencahayaan, pendinginan, dan pemanasan, penghuni atau pemilik bangunan dapat mengurangi tagihan energi bulanan. Dalam beberapa kasus, penghematan biaya energi dapat mencapai angka yang signifikan, terutama dalam bangunan komersial dan industri.

2. Peningkatan nilai properti.

Bangunan dengan efisiensi energi yang baik sering kali memiliki nilai pasar yang lebih tinggi. Pembeli atau penyewa cenderung memilih bangunan yang hemat energi karena biaya operasional lebih rendah dan kenyamanan yang lebih baik. Oleh karena itu, efisiensi energi dapat menjadi investasi jangka panjang yang meningkatkan daya tarik properti di pasar.

3. Pengurangan emisi gas rumah kaca.

Efisiensi energi dalam bangunan secara langsung mengurangi konsumsi energi sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Hal ini berkontribusi pada pengurangan perubahan iklim dan pencemaran udara, serta memberikan manfaat lingkungan yang signifikan.

4. Peningkatan kualitas udara dalam ruangan.

Bangunan yang efisien energi sering kali dilengkapi dengan sistem ventilasi baik dan kontrol kelembapan yang dapat meningkatkan kualitas udara dalam ruangan. Hal ini penting untuk kesehatan penghuni, terutama bagi mereka yang memiliki masalah pernapasan seperti asma atau alergi.

5. Pengurangan ketergantungan pada energi fosil.

Dengan mengurangi kebutuhan energi dari sumber daya fosil, efisiensi energi membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendorong transisi ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan, seperti energi terbarukan (surya, angin, atau hidro).

6. Peningkatan produktivitas dan kesehatan penghuni.

Lingkungan yang lebih nyaman, baik dari segi suhu, pencahayaan, dan kualitas udara dapat meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental penghuni. Dalam konteks bangunan perkantoran atau fasilitas komersial, hal ini dapat meningkatkan produktivitas karyawan karena dapat bekerja dalam kondisi yang lebih baik. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa kualitas udara yang lebih baik dapat mengurangi gejala kelelahan dan sakit sehingga meningkatkan tingkat konsentrasi dan kinerja.

7. Dukungan terhadap inovasi teknologi.

Penerapan efisiensi energi dalam bangunan mendorong pengembangan dan penggunaan teknologi baru, seperti sistem manajemen energi otomatis, pencahayaan LED, sistem pendinginan hemat energi, dan pengaturan suhu cerdas. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi bangunan, tetapi juga mempromosikan inovasi dalam industri energi dan konstruksi (Tasya, 2020).

Dengan demikian, tujuan berfokus pada alasan untuk menerapkan efisiensi energi, sementara manfaat adalah hasil nyata yang dapat diperoleh sebagai akibat dari penerapannya. Dengan memahami tujuan dan manfaat ini maka dapat lebih efektif dalam merancang dan mengimplementasikan strategi efisiensi energi dalam bangunan untuk menciptakan lingkungan yang lebih efisien, nyaman, serta ramah lingkungan.





Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB II

PRINSIP DAN STANDAR BANGUNAN GEDUNG HIJAU (*GREEN BUILDING*)

Prinsip Bangunan Gedung Hijau

Bangunan gedung hijau merupakan bangunan yang dirancang untuk memakai sumber daya secara hemat, mengurangi kerusakan terhadap lingkungan, serta menyediakan ruang yang nyaman dan sehat bagi penghuninya. Tujuan utamanya yaitu menghemat energi, air, dan bahan-bahan lain yang bisa merusak lingkungan sekaligus menekan emisi karbon. Selain itu, bangunan ini juga memperhatikan kenyamanan dengan menjaga kualitas udara, memanfaatkan cahaya alami sebanyak mungkin, dan mengatur suhu ruangan agar tetap nyaman (Martaningtyas, 2023).

Bangunan gedung hijau mengintegrasikan prinsip keberlanjutan yang menyeluruh dalam setiap tahap siklus hidup bangunan, dari desain, konstruksi, pengoperasian, hingga pembongkaran. Konsep ini juga

mencakup pemilihan material ramah lingkungan, pemanfaatan teknologi efisien, serta pengelolaan limbah yang baik (Puspitarini dkk., 2024). Untuk mencapai tujuan keberlanjutan dan efisiensi, bangunan gedung hijau harus mengikuti beberapa prinsip dasar yang menjadi landasan dalam perancangannya.

Lestari (2022) menyebutkan beberapa prinsip utama yang harus diperhatikan dalam desain dan pembangunan bangunan gedung hijau sebagaimana berikut.

1. Konservasi energi

Konservasi energi merupakan prinsip utama dalam bangunan gedung hijau yang berfokus pada pengurangan konsumsi energi selama fase operasional bangunan. Prinsip ini diterapkan dengan merancang bangunan yang dapat meminimalkan penggunaan bahan bakar untuk sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC), serta pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin.

Selain itu, desain bangunan gedung hijau juga mengoptimalkan penggunaan pencahayaan alami dan ventilasi alami untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi eksternal. Di samping itu, bangunan gedung hijau juga mengurangi konsumsi energi selama tahap konstruksi dan pada saat pembongkaran bangunan.

2. Penyesuaian dengan iklim

Bangunan gedung hijau harus disesuaikan dengan kondisi iklim lokal, baik itu iklim tropis, sedang, maupun dingin. Prinsip ini berfokus pada pemanfaatan sumber daya alam yang ada di lokasi pembangunan untuk mengurangi kebutuhan energi.

Misalnya, bangunan yang terletak di daerah yang panas dapat memanfaatkan angin untuk menciptakan ventilasi alami, sementara bangunan di daerah dingin bisa memanfaatkan pencahayaan matahari langsung untuk pemanasan. Selain itu, prinsip ini juga mencakup pemilihan material bangunan yang sesuai dengan iklim setempat, seperti material yang memiliki sifat insulasi termal yang baik.

3. Penggunaan sumber daya yang efisien

Salah satu prinsip penting dari bangunan gedung hijau adalah meminimalkan penggunaan sumber daya yang tidak dapat diperbarui dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Desain bangunan gedung hijau berusaha untuk mengurangi pemakaian energi, air, dan material yang berpotensi merusak lingkungan.

Misalnya, penggunaan sistem pengumpulan air hujan dan pemanfaatan limbah dapat mengurangi konsumsi air dan menciptakan siklus pemakaian yang lebih berkelanjutan. Selain itu, penggunaan material bangunan yang dapat didaur ulang atau memiliki jejak karbon rendah juga merupakan bagian dari prinsip ini.

4. Kenyamanan penghuni

Bangunan gedung hijau dibuat dengan memperhatikan kenyamanan penghuninya dari berbagai sisi, seperti kualitas udara, pencahayaan, dan suhu ruangan. Menjaga kualitas udara sangat penting, terutama di dalam ruangan tertutup, dan hal ini bisa dilakukan dengan memilih bahan bangunan yang aman dari zat berbahaya serta memasang sistem ventilasi yang baik. Selain itu, memaksimalkan pencahayaan alami juga menjadi kunci untuk menciptakan ruang yang sehat dan nyaman. Selain itu, bangunan gedung hijau juga memperhatikan faktor kesehatan dengan mengurangi paparan polusi dan bahan berbahaya yang dapat memengaruhi kesehatan penghuni dalam jangka panjang.

5. Pengelolaan lahan (*site planning*)

Prinsip pengelolaan lahan atau *site planning* berfokus pada bagaimana bangunan berinteraksi dengan lahan tempat bangunan tersebut didirikan. Pemilihan lokasi dan perancangan bangunan harus memperhatikan keberlanjutan ekosistem lokal.

Misalnya, bangunan gedung hijau dirancang untuk memanfaatkan karakteristik alami dari lahan, seperti topografi, vegetasi, dan aksesibilitas untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Dalam hal ini, keberadaan ruang terbuka hijau dan taman atap yang



dapat menyerap polusi udara dan mengurangi efek pulau panas perkotaan menjadi salah satu fitur penting dalam bangunan gedung hijau.

6. Pendekatan holistik

Bangunan gedung hijau tidak hanya mengadopsi satu atau dua prinsip saja, tetapi mengintegrasikan berbagai prinsip secara holistik. Artinya, desain bangunan gedung hijau harus mempertimbangkan semua aspek secara menyeluruh, mulai dari pemilihan material yang ramah lingkungan, efisiensi energi, pengelolaan air, hingga kenyamanan penghuni dan pengelolaan lahan. Semua elemen ini harus saling mendukung untuk mencapai tujuan utama, yaitu keberlanjutan yang menyeluruh dalam siklus hidup bangunan.

Dengan demikian, bangunan gedung hijau merupakan solusi untuk menciptakan lingkungan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Prinsip-prinsip dasar dalam desain dan pembangunan bangunan gedung hijau sangat penting untuk menciptakan bangunan yang tidak hanya hemat biaya dan efisien, tetapi juga dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi lingkungan dan penghuni. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, bangunan gedung hijau dapat berperan dalam menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan bagi generasi mendatang.

Standar dan Sertifikasi Bangunan Gedung Hijau

Standar dan sertifikasi bangunan gedung hijau merupakan sistem yang diterapkan untuk menilai sejauh mana sebuah bangunan memenuhi prinsip-prinsip keberlanjutan, efisiensi energi, serta dampak lingkungan yang minimal. Standar dan sertifikasi bertujuan untuk mendorong pengembangan bangunan yang tidak hanya efisien dalam penggunaan sumber daya, tetapi juga aman, nyaman, dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan (Valerie, 2023).

Dengan adanya standar dan sertifikasi ini, pengembang, arsitek, dan pihak terkait mendapatkan panduan yang jelas dalam merancang dan membangun bangunan gedung hijau. Standar ini mencakup berbagai

kriteria yang harus dipenuhi oleh bangunan, dari desain, konstruksi, hingga pengoperasian dan pembongkarannya. Hal ini dilakukan untuk memastikan prinsip keberlanjutan dan efisiensi sumber daya diterapkan dengan baik.

Beberapa standar yang digunakan di berbagai negara untuk bangunan gedung hijau adalah sebagai berikut.

1. LEED (*leadership in energy and environmental design*)

LEED merupakan standar bangunan gedung hijau yang berasal dari Amerika Serikat. LEED memberikan penilaian berdasarkan beberapa kategori, seperti efisiensi energi, kualitas lingkungan dalam ruangan, pengelolaan air, dan penggunaan material yang ramah lingkungan. LEED memiliki beberapa tingkat sertifikasi, mulai dari *certified*, *silver*, *gold*, hingga platinum, tergantung pada jumlah poin yang diperoleh.

2. BREEAM (*building research establishment environmental assessment method*)

Standar ini berasal dari Inggris dan merupakan salah satu yang tertua di dunia. BREEAM menilai bangunan berdasarkan aspek lingkungan, kesehatan dan kenyamanan, energi, transportasi, air, material, limbah, serta dampak pada ekosistem sekitar. BREEAM juga memberikan sertifikasi dengan tingkat penilaian yang berbeda.

3. *Green star*

Sistem sertifikasi bangunan gedung hijau ini banyak digunakan di Australia. *Green star* menilai aspek seperti pengelolaan energi, penggunaan air, kualitas lingkungan dalam ruangan, serta dampak bangunan terhadap lingkungan dan ekosistem sekitar.

4. HQE (*haute qualité environnementale*)

Standar HQE merupakan sistem sertifikasi bangunan gedung hijau dari Prancis yang menekankan efisiensi energi, kenyamanan penghuni, dan keberlanjutan lingkungan. Dengan pendekatan holistik yang mencakup manajemen sumber daya, material berkelanjutan, dan kesehatan penghuni, HQE menjadi salah satu standar bangunan gedung hijau yang diakui secara internasional.

Penerapan HQE dalam proyek bangunan dapat mengurangi konsumsi energi, meningkatkan kualitas hidup penghuni, serta mendukung transisi menuju pembangunan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5. *Greenship*

Greenship adalah sistem sertifikasi bangunan gedung hijau yang dikembangkan oleh Green Building Council Indonesia (GBCI) untuk menilai dan mendorong praktik pembangunan ramah lingkungan. Sertifikasi ini berfokus pada efisiensi energi, konservasi air, pemilihan material berkelanjutan, serta aspek keberlanjutan lainnya. Saat ini, *greenship* menjadi standar nasional dalam menilai bangunan gedung hijau di Indonesia dan diterapkan pada berbagai jenis bangunan, termasuk perkantoran, komersial, industri, rumah sakit, serta perumahan.

Sementara itu, sertifikasi bangunan gedung hijau biasanya dilakukan oleh lembaga atau organisasi yang berkompeten dalam bidang keberlanjutan dan lingkungan. Proses sertifikasi umumnya melibatkan beberapa tahap, mulai dari persiapan dokumen, penilaian oleh tim ahli, hingga verifikasi lapangan. Tahapan umum yang terlibat dalam proses sertifikasi bangunan gedung hijau dengan menggunakan standar LEED adalah sebagai berikut.

1. Penilaian awal

Pada tahap ini, pihak pengembang bangunan atau arsitek akan melakukan penilaian awal terkait dengan penerapan prinsip-prinsip bangunan gedung hijau. Mereka akan memastikan bahwa desain dan rencana pembangunan sudah memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh standar sertifikasi yang dipilih.

2. Dokumentasi dan pengumpulan bukti

Pengembang harus mengumpulkan berbagai dokumen dan bukti yang mendukung penerapan prinsip-prinsip bangunan gedung hijau dalam proses desain dan konstruksi. Hal ini meliputi informasi mengenai penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, pengelolaan air, dan strategi pengurangan limbah.

3. Penilaian oleh tim ahli

Tim ahli yang terdiri dari para profesional di bidang keberlanjutan dan bangunan gedung hijau akan melakukan penilaian terhadap desain dan konstruksi bangunan. Tim ini akan mengevaluasi apakah bangunan memenuhi standar yang ditetapkan oleh sertifikasi yang diajukan.

4. Verifikasi lapangan

Verifikasi lapangan dilakukan untuk memastikan bahwa penerapan prinsip-prinsip bangunan gedung hijau tidak hanya ada dalam dokumen, tetapi juga diterapkan secara nyata di lokasi proyek. Proses ini melibatkan inspeksi fisik dan pengujian sistem bangunan, seperti sistem HVAC, pemanfaatan energi terbarukan, dan sistem pengelolaan air.

5. Pemberian sertifikat

Jika bangunan berhasil memenuhi persyaratan yang ditetapkan maka sertifikat bangunan gedung hijau akan diberikan. Sertifikat ini mengindikasikan bahwa bangunan tersebut telah memenuhi standar keberlanjutan dan layak mendapatkan pengakuan sebagai bangunan gedung hijau.

Sertifikasi bangunan gedung hijau tidak hanya memberikan pengakuan terhadap upaya keberlanjutan, tetapi juga memberikan berbagai manfaat bagi pemilik bangunan, penghuninya, serta lingkungan sekitar. Beberapa manfaat sertifikasi bangunan gedung hijau adalah sebagai berikut.

1. Pengurangan biaya operasional.

Bangunan gedung hijau yang efisien dalam penggunaan energi dan air dapat mengurangi biaya operasional secara signifikan. Hal ini sangat bermanfaat dalam jangka panjang, terutama terkait dengan penghematan energi listrik dan penggunaan air yang lebih efisien.

2. Peningkatan nilai properti.

Bangunan yang memiliki sertifikasi hijau cenderung memiliki nilai pasar yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya permintaan



terhadap bangunan yang ramah lingkungan, serta keinginan untuk berinvestasi dalam properti yang berkelanjutan.

3. Kesehatan dan kenyamanan penghuni.

Bangunan gedung hijau dirancang untuk menciptakan lingkungan yang sehat bagi penghuni. Dengan mengutamakan kualitas udara dalam ruangan, pencahayaan alami, serta kontrol suhu yang baik, bangunan gedung hijau meningkatkan kenyamanan dan kesehatan penghuni.

4. Dampak lingkungan yang positif.

Dengan mengurangi penggunaan energi fosil, meminimalkan emisi karbon, serta memanfaatkan sumber daya alam yang berkelanjutan, bangunan gedung hijau membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan berkontribusi pada pelestarian alam.

5. Akses ke insentif dan dukungan pemerintah.

Beberapa pemerintah memberikan insentif atau dukungan finansial kepada pengembang yang menerapkan prinsip bangunan gedung hijau, seperti pengurangan pajak, hibah, atau kredit untuk bangunan berkelanjutan.

Dengan demikian, sertifikasi bangunan gedung hijau dan standar yang diterapkan memberikan pedoman yang jelas untuk menciptakan bangunan yang efisien, ramah lingkungan, serta berkelanjutan. Melalui sertifikasi, pengembang dapat memastikan bahwa bangunan yang dibangun tidak hanya memenuhi kebutuhan penghuni, tetapi juga berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan dan pengurangan dampak negatif terhadap ekosistem.

Komponen Utama dalam Bangunan Gedung Hijau

Komponen utama dalam bangunan gedung hijau melibatkan berbagai aspek yang dirancang untuk mendukung prinsip keberlanjutan dan efisiensi sumber daya. Setiap komponen memiliki peran penting dalam

menciptakan lingkungan yang lebih ramah lingkungan, hemat energi, dan memberikan kenyamanan bagi penghuninya.

Menurut Omolewa (2023), terdapat beberapa komponen utama yang harus diperhatikan dalam bangunan gedung hijau.

1. Bahan bangunan ramah lingkungan.

Penggunaan bahan bangunan yang berkelanjutan sangat penting dalam desain dan konstruksi bangunan gedung hijau. Bahan yang dapat didaur ulang atau digunakan kembali mengurangi limbah, menghemat biaya dan energi, serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Selain itu, bahan yang dipilih harus aman bagi kesehatan manusia dan tidak mengandung zat beracun yang berbahaya.

2. Efisiensi energi dan pemanfaatan energi terbarukan.

Bangunan gedung hijau dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dengan menggunakan teknologi hemat energi dan sumber energi terbarukan. Contohnya, pemasangan panel surya dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil, sementara penggunaan sistem pemanas dan pendingin yang efisien, seperti jendela berinsulasi dapat membantu mempertahankan suhu dalam ruangan dengan lebih baik.

3. Kualitas udara dalam ruangan.

Kualitas udara dalam ruangan sangat berpengaruh terhadap kesehatan dan kenyamanan penghuni. Bangunan gedung hijau mengadopsi desain yang memungkinkan sirkulasi udara alami, penggunaan material bebas toksin, serta pemasangan atap hijau untuk meningkatkan kualitas udara. Panel akses aluminium yang tahan cuaca juga dapat digunakan untuk memperpanjang daya tahan bangunan dan mengurangi dampak lingkungan.

4. Efisiensi penggunaan air.

Pengelolaan air yang efisien merupakan salah satu aspek utama dalam bangunan gedung hijau. Penggunaan peralatan hemat air, seperti toilet dan pancuran berdaya rendah serta sistem daur ulang air hujan dapat membantu mengurangi konsumsi air dan menjaga keberlanjutan sumber daya air.

5. Pengurangan dan pengelolaan limbah.

Bangunan gedung hijau menerapkan prinsip daur ulang dan penggunaan kembali bahan konstruksi untuk mengurangi limbah yang dihasilkan. Selain itu, pengelolaan limbah yang tepat dapat membantu mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca selama proses konstruksi dan operasional bangunan.

6. Pertumbuhan cerdas dan pembangunan berkelanjutan.

Pembangunan berkelanjutan dalam konsep bangunan gedung hijau tidak hanya berfokus pada efisiensi sumber daya, tetapi juga mencakup aspek sosial dan ekonomi. Masyarakat didorong untuk berpartisipasi dalam upaya mengurangi polusi serta menciptakan lingkungan yang sehat dan produktif. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

7. Pengurangan paparan zat beracun.

Untuk melindungi kesehatan penghuni dan mengurangi kerusakan terhadap lingkungan, bangunan gedung hijau lebih memilih menggunakan bahan-bahan yang bebas dari zat beracun. Dalam proses pembangunannya, disarankan memakai produk yang sudah memenuhi standar kesehatan dan keselamatan, misalnya yang memiliki sertifikat dari Environmental Protection Agency (EPA) melalui program *design for the environment* (DfE).

Peran Teknologi dalam Bangunan Gedung Hijau

Teknologi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi energi, melestarikan sumber daya, serta menciptakan lingkungan yang sehat dan nyaman. Dalam hal efisiensi energi, teknologi mendukung penerapan sistem manajemen energi cerdas yang dapat memantau dan mengoptimalkan konsumsi daya secara *real-time*.

Misalnya, pencahayaan LED pintar dengan sensor otomatis menyesuaikan intensitas cahaya sesuai kebutuhan penghuni, mengurangi pemborosan energi. Sistem HVAC berbasis kecerdasan buatan mengatur suhu

dan ventilasi untuk menghemat energi tanpa mengorbankan kenyamanan. Penggunaan energi terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin juga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Dalam konservasi air, teknologi mendukung sistem pemanenan air hujan dan daur ulang air limbah (*greywater recycling*) yang memungkinkan penggunaan kembali air untuk irigasi dan sanitasi. Peralatan hemat air, seperti toilet *flush* ganda dan keran otomatis turut membantu mengurangi konsumsi air, sementara sensor kebocoran air mendeteksi dan mencegah pemborosan yang tidak terdeteksi.

Teknologi juga berkontribusi pada penggunaan material ramah lingkungan, seperti beton hijau yang terbuat dari material daur ulang dengan jejak karbon rendah. Jendela pintar dengan teknologi *smart glass* menyesuaikan transparansi kaca untuk mengoptimalkan pencahayaan alami dan mengurangi beban pendinginan. Insulasi termal cerdas menjaga suhu ruangan lebih stabil tanpa konsumsi energi berlebihan.

Dalam pengelolaan limbah, sistem pemilahan otomatis meningkatkan efisiensi daur ulang, sementara teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) mengolah limbah organik menjadi pupuk untuk lanskap hijau. Selain itu, pemanfaatan biogas dari limbah organik dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan.

Untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan, bangunan gedung hijau menggunakan sistem ventilasi pintar yang mengoptimalkan sirkulasi udara dan mengurangi polusi dalam ruangan. Filter udara HEPA dan karbon aktif menyaring debu dan zat berbahaya, sementara sensor kualitas udara memantau kadar CO₂ dan kelembaban guna menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi penghuni.

Teknologi juga mendukung pengelolaan lanskap dan lingkungan sekitar bangunan gedung hijau. Atap hijau dan taman vertikal mengurangi suhu bangunan serta menyerap polutan udara. Material permeabel memungkinkan resapan air hujan yang lebih baik untuk mengurangi risiko banjir, sementara sensor ekosistem membantu menjaga keseimbangan lingkungan sekitar.



Dalam manajemen bangunan, sistem *building management system* (BMS) mengontrol pencahayaan, suhu, dan keamanan secara otomatis meningkatkan efisiensi operasional. Sensor pintar mengatur konsumsi listrik dan pendinginan berdasarkan keberadaan penghuni, sementara integrasi *internet of things* (IoT) dan *smart grid* memungkinkan bangunan terhubung dengan jaringan listrik berbasis energi terbarukan untuk pengelolaan daya yang lebih efisien.

Selain efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan, teknologi juga meningkatkan keamanan dan kenyamanan penghuni. Sistem keamanan pintar, seperti sensor gerak dan kamera berbasis kecerdasan buatan (AI) mendukung pengawasan yang lebih efektif. Pencahayaan adaptif dan sistem akustik cerdas menciptakan suasana yang lebih nyaman, sementara teknologi pembersih udara berbasis UV membantu menjaga kualitas udara dengan membunuh bakteri dan virus.

Secara keseluruhan, penerapan teknologi dalam bangunan gedung hijau memaksimalkan efisiensi energi, konservasi air, dan pengelolaan limbah sekaligus menciptakan ruang yang lebih sehat dan nyaman. Dengan integrasi sistem pintar dan energi terbarukan, bangunan gedung hijau tidak hanya lebih hemat biaya dan ramah lingkungan, tetapi juga memberikan lingkungan yang lebih berkelanjutan untuk masa depan.



BAB III

EFISIENSI ENERGI DAN PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN DALAM BANGUNAN GEDUNG HIJAU

Faktor Penentu Efisiensi Energi

Efisiensi energi dalam bangunan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang menentukan seberapa efektif energi digunakan untuk mencapai kenyamanan dan fungsi yang optimal. Faktor-faktor utama yang memengaruhi efisiensi energi di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Desain bangunan

Desain yang efisien memainkan peran penting dalam mengoptimalkan pencahayaan alami, ventilasi udara, serta mengurangi kebutuhan energi untuk pemanasan dan pendinginan. Strategi seperti orientasi bangunan yang tepat, tata letak ruangan yang efisien, desain fasad pasif, serta penggunaan jendela dan atap hijau dapat menekan konsumsi energi secara signifikan (Wiraguna dan Purwanto, 2024).

Inovasi terbaru dalam desain bangunan mencakup penggunaan *dynamic facades*, di mana fasad yang dapat berubah sesuai kondisi cuaca untuk mengoptimalkan pencahayaan alami dan ventilasi. Selain itu, teknologi *cool roof* dan *solar shading* berbasis AI juga mulai diterapkan untuk menyesuaikan tingkat refleksi panas dan pencahayaan secara otomatis.

2. Iklim dan lingkungan

Kondisi iklim sangat memengaruhi kebutuhan energi bangunan, terutama untuk sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC). Di daerah beriklim panas, penggunaan pelindung matahari, ventilasi silang, dan material reflektif dapat mengurangi beban pendinginan. Sementara itu di daerah dingin, isolasi termal dan pemanfaatan massa termal membantu mempertahankan suhu ruangan tanpa konsumsi energi berlebih (Leni, 2023).

Teknologi terbaru seperti *phase change materials* (PCM) telah diterapkan untuk meningkatkan penyimpanan panas di dalam bangunan dan mengurangi fluktuasi suhu sehingga menekan konsumsi energi HVAC. Selain itu, sistem *geo-exchange heating and cooling* memanfaatkan suhu tanah yang stabil untuk mempertahankan suhu ruangan dengan energi minimal.

3. Pemilihan material

Material yang digunakan dalam konstruksi berdampak pada isolasi termal, efisiensi pencahayaan, dan keberlanjutan bangunan. Penggunaan material berinsulasi tinggi, beton hijau, kaca Low-E, serta bahan daur ulang dapat mengurangi konsumsi energi sekaligus meningkatkan kenyamanan penghuni.

Inovasi terbaru dalam material mencakup penggunaan *aerogel insulation* yang merupakan bahan super ringan dengan daya insulasi sangat tinggi yang kini mulai diterapkan dalam konstruksi fasad bangunan. Selain itu, cat fotokatalitik berbasis *Titanium dioksida* dapat membantu membersihkan udara sekaligus meningkatkan reflektivitas cahaya untuk mengurangi panas berlebih di dalam ruangan.

4. Teknologi dan sistem energi

Inovasi teknologi memainkan peran penting dalam mengoptimalkan penggunaan energi. Penggunaan sistem pencahayaan pintar, sensor otomatis, HVAC berbasis AI, serta integrasi energi terbarukan seperti panel surya dan pompa panas geotermal dapat mengurangi ketergantungan pada energi konvensional serta meningkatkan efisiensi operasional bangunan (Leni, 2023).

Beberapa teknologi terbaru yang sudah diterapkan adalah sebagai berikut.

a. BIPV (*building integrated photovoltaics*)

BIPV adalah sistem panel surya yang diintegrasikan langsung ke dalam elemen struktural bangunan, seperti fasad, atap, jendela, atau kanopi. Teknologi ini memungkinkan bangunan menghasilkan listrik dari energi matahari tanpa memerlukan ruang tambahan untuk instalasi panel surya konvensional. Selain itu, BIPV menawarkan nilai estetika yang lebih baik dan dapat menggantikan material bangunan tradisional sehingga menghemat biaya material dan meningkatkan efisiensi energi (A'yun dan Heryanti, 2024).

b. *Smart glass*

Smart glass merupakan inovasi kaca yang dapat mengubah tingkat transparansi secara otomatis atau dikendalikan sesuai kebutuhan. Teknologi ini membantu mengatur pencahayaan alami dan mengurangi beban sistem pendinginan dalam bangunan.

Dengan mengurangi panas yang masuk ke dalam ruangan, *smart glass* membantu menghemat energi yang digunakan untuk pendinginan, meningkatkan kenyamanan penghuni, serta mengurangi ketergantungan pada sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) (Hidayat dan Sutabri, 2024).

c. *Digital twin technology*

Digital twin adalah teknologi pemodelan digital yang memungkinkan simulasi kondisi bangunan secara *real-time*. Dengan

memanfaatkan sensor IoT dan kecerdasan buatan (AI), teknologi ini menciptakan replika virtual dari bangunan fisik untuk menganalisis, memantau, dan mengoptimalkan penggunaan energi (Tolle dan Al Huda, 2023).

- d. Microgrid dan sistem penyimpanan energi
Microgrid merupakan sistem jaringan listrik kecil yang dapat beroperasi secara independen atau terhubung dengan jaringan utama. Teknologi ini sering dikombinasikan dengan baterai pintar berbasis AI untuk menyimpan dan mengelola energi terbarukan secara optimal (Nugroho dkk., 2023).
- e. *IoT-based energy management system*
Sistem berbasis *internet of things* (IoT) yang menghubungkan perangkat-perangkat dalam bangunan untuk mengatur penggunaan energi secara otomatis dan efisien (Tawakkal dan Hafid, 2024).

Dengan mengintegrasikan keempat faktor ini secara optimal, bangunan dapat mencapai efisiensi energi yang lebih baik, mengurangi biaya operasional, serta mendukung keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang.

Energi Terbarukan dalam Bangunan Gedung Hijau

Sektor konstruksi merupakan penyumbang signifikan terhadap konsumsi energi dan emisi karbon. Peningkatan standar hidup dan digitalisasi mendorong lonjakan kebutuhan energi dalam bangunan. Untuk menekan dampak lingkungan, integrasi energi terbarukan menjadi langkah penting dalam mewujudkan bangunan gedung hijau yang efisien dan berkelanjutan (Utami, 2021).

Energi terbarukan seperti surya, angin, panas bumi, dan biomassa dapat diterapkan sesuai dengan kondisi lokasi dan kebijakan yang berlaku. Pemanfaatannya tidak hanya meningkatkan kemandirian energi dan menurunkan biaya operasional, tetapi juga mendukung pencapaian netralitas karbon (Dhull, 2024).

Energi surya dimanfaatkan melalui panel fotovoltaik, pemanas air tenaga surya, serta sistem pasif seperti orientasi bangunan dan aliran udara alami. Teknologi kaca surya juga mendukung efisiensi termal dan kenyamanan ruang. Energi angin digunakan dalam bentuk pembangkit listrik, ventilasi alami, dan desain bangunan yang mengarahkan aliran udara, seperti cerobong termal dan penangkap angin untuk pendinginan pasif tanpa energi tambahan.

Energi panas bumi menawarkan sumber energi stabil untuk pemanasan dan pendinginan melalui pompa panas geotermal dan jaringan pipa bawah tanah. Hal ini memungkinkan pengendalian suhu dengan konsumsi energi rendah. Sementara itu, biomassa dari bahan organik dapat diolah menjadi energi melalui proses biologis. Di sektor bangunan, biomassa berfungsi sebagai bahan konstruksi sekaligus sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

Menghitung ketersediaan energi terbarukan merupakan langkah penting dalam memastikan efisiensi penggunaan sumber daya energi yang ramah lingkungan. Proses ini memerlukan berbagai pengetahuan dan perhitungan yang harus dilakukan dengan cermat untuk memastikan bahwa energi terbarukan yang digunakan dapat memenuhi kebutuhan secara efisien.

Untuk melakukan perhitungan ketersediaan energi terbarukan, ada beberapa pengetahuan dasar yang perlu dikuasai, termasuk pemahaman tentang parameter yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi terbarukan. Salah satu parameter utama yang perlu dipahami adalah kode rating tolok ukur, yaitu EEC 6 yang digunakan untuk menilai kontribusi energi terbarukan terhadap permintaan daya maksimum (*maximum power demand*). Pada tahap ini, penting juga untuk memeriksa beberapa parameter yang menjadi acuan dalam menentukan ketersediaan energi terbarukan. Salah satu faktor utama yang diperiksa adalah *on-site renewable energy*, yaitu energi terbarukan yang dihasilkan langsung di lokasi.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Konstruksi (2023), ketersediaan energi terbarukan dihitung berdasarkan kontribusinya terhadap total permintaan daya maksimum dengan ketentuan sebagai berikut.

1. Jika 0,25% dari permintaan daya maksimum dihasilkan oleh energi terbarukan atau setara dengan 2 kWp energi terbarukan yang terpasang.
2. Jika 0,5% dari permintaan daya maksimum dihasilkan oleh energi terbarukan atau setara dengan 5 kWp energi terbarukan yang terpasang.
3. Jika 1,0% dari permintaan daya maksimum dihasilkan oleh energi terbarukan atau setara dengan 10 kWp energi terbarukan yang terpasang.
4. Jika 1,5% dari permintaan daya maksimum dihasilkan oleh energi terbarukan atau setara dengan 20 kWp energi terbarukan yang terpasang.

Beberapa data penting yang digunakan dalam perhitungan ketersediaan energi terbarukan meliputi:

1. durasi sinar matahari (*sunshine duration*) untuk setiap bulan selama 5 tahun;
2. nilai *irradiance* untuk setiap bulan selama 5 tahun;
3. data konsumsi energi listrik (UC);
4. sudut pengangkatan dan sudut orientasi optimal;
5. modul panel surya sel;
6. luas permukaan yang tersedia untuk integrasi pembangkit listrik tenaga surya (PV);
7. total radiasi matahari yang diterima per satuan luas (m²) untuk sudut pengangkatan dan orientasi yang ditetapkan; serta
8. total radiasi matahari yang diterima oleh seluruh permukaan panel surya pada kondisi *soft shading*.

Setelah mengumpulkan data yang relevan, proses pemeriksaan konversi energi terbarukan harus dilakukan dengan cermat sesuai dengan ketentuan yang ada. Langkah-langkah untuk menilai hasil pemeriksaan konversi antara lain sebagai berikut.

1. Identifikasi sumber energi terbarukan.
Tentukan sumber energi terbarukan yang akan dianalisis, seperti energi surya, angin, hidro, bioenergi, atau panas bumi. Setiap sumber energi terbarukan memiliki metode perhitungan yang berbeda.
2. Kumpulkan data potensi energi.
Kumpulkan data yang relevan mengenai potensi sumber energi terbarukan yang akan dianalisis, seperti data sinar matahari, kecepatan angin, debit air, atau potensi biomassa.
3. Tinjau faktor-faktor teknis.
Periksa faktor-faktor teknis yang memengaruhi ketersediaan energi terbarukan, seperti efisiensi konversi, faktor kapasitas, dan variabilitas sumber energi.
4. Hitung potensi energi terbarukan.
Gunakan data yang telah dikumpulkan untuk menghitung potensi energi terbarukan berdasarkan metode yang relevan.
5. Evaluasi potensi ketersediaan.
Evaluasi hasil perhitungan untuk memahami potensi ketersediaan energi terbarukan dengan membandingkannya pada kebutuhan energi saat ini atau target energi terbarukan yang telah ditetapkan.
6. Pertimbangkan faktor lain.
Pertimbangkan faktor lain yang dapat memengaruhi ketersediaan energi terbarukan, seperti cuaca, musim, atau fluktuasi alam.
7. Gunakan model atau perangkat lunak.
Jika memungkinkan, gunakan model atau perangkat lunak khusus untuk menghitung ketersediaan energi terbarukan guna mendapatkan hasil yang lebih akurat.
8. Pertimbangkan skala waktu.
Perhitungan ketersediaan energi terbarukan harus mempertimbangkan skala waktu yang relevan, seperti perhitungan harian, bulanan, atau tahunan.



Dalam proses ini, beberapa keterampilan utama yang diperlukan, yaitu:

1. mengidentifikasi ketersediaan energi terbarukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
2. memeriksa perhitungan yang terkait dengan ketersediaan energi terbarukan sesuai dengan pedoman yang ada; serta
3. menilai hasil pemeriksaan konversi yang terkait dengan ketersediaan energi terbarukan, dengan memperhatikan semua faktor teknis dan lingkungan yang relevan.

Dengan pengetahuan dan keterampilan yang tepat, perhitungan ketersediaan energi terbarukan dapat dilakukan secara akurat dan efektif sehingga dapat mendukung pemanfaatan sumber daya energi terbarukan secara optimal.

Analisis Konsumsi Energi pada Bangunan Gedung Hijau

Menurut Kinanti dkk. (2024), konsumsi merupakan pengeluaran rumah tangga untuk barang dan jasa dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan individu yang melakukan pengeluaran tersebut. Individu yang melakukan konsumsi disebut sebagai konsumen. Keinginan individu untuk mengonsumsi suatu barang akan mendorong timbulnya permintaan, yaitu keinginan konsumen untuk membeli barang tersebut dengan berbagai pilihan harga.

Dalam konteks ini, konsumsi energi diartikan sebagai penggunaan energi untuk mempermudah kehidupan manusia. Peningkatan konsumsi energi sering kali dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pertumbuhan ekonomi yang pesat, peningkatan jumlah populasi, dan kemajuan teknologi. Penggunaan energi sangat berkaitan dengan upaya manusia untuk mempermudah pekerjaan dan meningkatkan nilai ekonomi. (Adrian, 2023).

Semakin kaya suatu negara maka semakin besar pula kebutuhan energinya, meskipun rasio kebutuhan energi antarnegara bisa berbeda.

Kebutuhan energi suatu negara dipengaruhi oleh karakteristik negara tersebut serta jenis produksi yang ada. Hal ini dapat digunakan untuk memperkirakan penggunaan energi di masa depan.

Masyarakat modern umumnya ditandai dengan tingginya konsumsi energi, terutama yang bersumber dari bahan bakar fosil. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan energi pun semakin meningkat. Energi digunakan untuk memproduksi berbagai kebutuhan, seperti sandang, pangan, tempat tinggal, transportasi, komunikasi, dan layanan lainnya yang berdampak pada kualitas lingkungan. Penggunaan energi yang sangat besar di daerah perkotaan dan negara-negara industri dapat menyebabkan kerusakan lingkungan.

Penggunaan energi dapat dibagi menjadi empat sektor ekonomi utama, yaitu industri (manufaktur, produksi material, pertanian, dan pemulihan sumber daya); transportasi (mobil, truk, kereta api, pesawat terbang, pipa, dan kapal); sektor komersial (jasa); serta sektor perumahan.

Di sisi lain, terdapat beberapa faktor utama yang mendorong peningkatan kebutuhan energi termasuk pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, harga energi, dan perkembangan teknologi. *Pertama*, perubahan jumlah populasi berpengaruh besar terhadap besar dan komposisi kebutuhan energi, baik secara langsung maupun melalui dampaknya terhadap perkembangan ekonomi. Pola penggunaan energi di daerah perkotaan dan pedesaan sangat berbeda.

Kedua, permintaan energi memiliki hubungan yang erat dengan aktivitas ekonomi. Asumsi mengenai pertumbuhan PDB sangat dipengaruhi oleh perkiraan kebutuhan energi. *Ketiga*, teknologi memegang peran penting dalam menentukan permintaan energi di masa depan, terutama dalam hal pembangkit energi. Teknologi akan memengaruhi keputusan investasi, biaya pasokan yang bervariasi untuk setiap jenis energi, serta tingkat dan komposisi permintaan energi di masa depan (Fandeli, 2021).

Dalam hal ini, terdapat beberapa contoh bangunan gedung hijau yang telah berhasil dalam penerapan prinsip efisiensi energi, yaitu sebagai berikut.



1. *The edge*

The edge yang berada di Amsterdam Belanda dikenal sebagai salah satu gedung paling ramah lingkungan di dunia. Gedung ini mendapatkan predikat sebagai gedung paling hijau berdasarkan sertifikasi dari BREEAM, yaitu lembaga asal Inggris dengan skor keberlanjutan tertinggi sebesar 98,4 persen.

Dalam budaya Belanda, gedung ini sering disebut dengan ungkapan “*het nieuwe werken*” yang berarti “cara kerja baru”. Pembangunan *the edge* mengusung konsep efisiensi sumber daya, di mana panel surya yang terpasang tidak hanya memenuhi kebutuhan listrik gedung, tetapi juga menghasilkan lebih banyak listrik daripada yang digunakan. Konsep ini sejalan dengan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi secara optimal demi kenyamanan penghuni di dalamnya (Assifa, 2024).

2. *One Central Park, Sydney* (Australia)

One Central Park adalah contoh bangunan gedung hijau yang memanfaatkan teknologi inovatif untuk efisiensi energi. Bangunan ini dilengkapi dengan atap hijau yang berfungsi untuk meningkatkan isolasi termal dan mengurangi efek pulau panas perkotaan.

Selain itu, sistem panel surya yang dipasang pada bangunan ini menghasilkan energi terbarukan yang digunakan untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi gedung. Dengan desain yang efisien dan penggunaan energi terbarukan, One Central Park berhasil mengurangi konsumsi energi secara signifikan sekaligus tetap mempertahankan kenyamanan penghuninya (Lidinillah, 2024).

Oleh karena itu, konsumsi energi yang terus meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi, pertumbuhan populasi, serta kemajuan teknologi memerlukan pemahaman dan perencanaan yang efisien. Sektor-sektor utama seperti industri, transportasi, komersial, dan perumahan harus fokus dalam pengelolaan konsumsi energi.

Adopsi teknologi efisien dan prinsip bangunan gedung hijau dapat mengurangi dampak lingkungan serta menciptakan masa depan yang

lebih berkelanjutan. Studi kasus yang disebutkan di atas menunjukkan bahwa penerapan desain dan teknologi efisien dalam bangunan gedung hijau tidak hanya mengurangi konsumsi energi, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan dan ekonomis yang signifikan.





Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB IV

PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI

Mengumpulkan Data Perhitungan Ulang Efisiensi Energi

1. Standar, data, dan informasi diidentifikasi sesuai dengan prosedur.
Unit ini mencakup pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang diperlukan untuk melakukan tinjauan ulang terhadap perhitungan efisiensi energi dalam menentukan peringkat bangunan gedung hijau.
 - a. Prosedur identifikasi persyaratan standar dan data.
Langkah-langkah dalam mengidentifikasi persyaratan standar dan data yang berkaitan dengan perhitungan ulang efisiensi energi adalah sebagai berikut.

No	Elemen Kompetensi	Parameter Penilaian Kinerja		Poin
1.	Selubung bangunan	a)	Selubung bangunan memiliki nilai akumulasi <i>overall thermal transfer value</i> (OTTV) dan <i>roof thermal transfer value</i> (RTTV) paling tinggi 35 Watt/m ²	5
		b)	Nilai perbandingan selubung bangunan transparan dengan selubung bangunan masif (<i>window to wall ratio</i>) kurang dari 30%	3
2.	Sistem ventilasi	a)	Bangunan gedung yang setiap ruangnya dilengkapi dengan sistem pengondisian udara, namun direncanakan untuk tidak mengondisikan sebagian atau seluruh ruang pasif (koridor, lobby lift, toilet, dan lain-lain) serta melengkapi dengan ventilasi alami atau ventilasi mekanis sehingga tetap memenuhi kenyamanan termal	2
3.	Sistem pengondisian udara	a)	Direncanakan menggunakan <i>air conditioning</i> (AC) dengan suhu ruangan paling rendah $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan relatif ruangan $60\% \pm 10\%$	1
		b)	kW/TR atau COP dari peralatan pengondisian udara sesuai dengan SNI 6390:2020 atau edisi terbaru	4

4.	Sistem pencahayaan	a)	Pencahayaan buatan memenuhi persyaratan sebagai berikut.	1
			1) Sistem pencahayaan buatan ruangan direncanakan memiliki daya maksimum dan tingkat pencahayaan sesuai dengan SNI 6197:2020 atau edisi terbaru.	1
			2) Terdapat satu saklar pada ruangan yang lebih kecil dari pada 30 m ² .	1
			3) Penggunaan sensor penghuni/pengendali pencahayaan pada ruang dengan fungsi tertentu sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 6197:2020 atau edisi terbaru.	
		b)	Pencahayaan alami memenuhi persyaratan sebagai berikut.	
			1) Daerah yang mendapat pencahayaan alami sesuai standar, memiliki pengelompokan lampu terpisah dengan daerah yang tidak mendapatkan cahaya alami.	3
			2) Daerah yang mendapat pencahayaan alami sesuai standar, dilengkapi dengan sensor intensitas cahaya (lux) yang dapat mengatur penyalan lampu sesuai dengan tingkat pencahayaan sesuai standar	1

5.	Sistem transportasi dalam gedung	a)	Perhitungan traffic analysis lift sesuai SNI 03-6573-2001 atau edisi terbaru	1
		b)	Menggunakan sistem transportasi vertikal yang memiliki fitur hemat energi.	
		1)	Untuk transportasi vertikal elevator menggunakan teknologi <i>variable voltage variable frequency</i> (VVVF).	1
		2)	Untuk transportasi vertikal eskalator menggunakan teknologi <i>slow motion</i> atau <i>on/off automatic</i> .	1
6.	Perhitungan efisiensi energi	a)	Terdapat rencana penghematan konsumsi energi listrik dengan melakukan perhitungan konsumsi energi listrik yang lebih rendah dibandingkan dengan <i>baseline*</i>). Untuk setiap penghematan konsumsi energi listrik 2% diberi 1 poin dengan nilai paling banyak 5 poin.	5
		b)	<i>Baseline</i> adalah besaran rujukan untuk efisiensi energi yang dihitung berdasarkan SNI dan peraturan perundang-undangan tentang konservasi energi. SNI yang diacu sebagaimana berikut.	
			1) SNI 6197:2020 (konservasi energi pada sistem pencahayaan). 2) SNI 6389:2020 (konservasi energi selubung bangunan pada Bangunan gedung). 3) SNI 6390:2020 (konservasi energi sistem tata udara pada bangunan gedung). 4) atau edisi terbaru.	

7.	Sistem kelistrikan	a)	Bangunan gedung direncanakan memiliki pengelompokan beban listrik dan masing-masing memiliki kWh meter, serta tersedia submeter energi listrik untuk sumber daya utama lebih besar dari 100 kVa.	1
		b)	Bangunan dengan sistem pengondisian udara terpusat (<i>centralized air conditioning system</i>) harus menggunakan <i>building management system</i> (BMS) guna mengendalikan konsumsi listrik pada bangunan gedung.	2
		c)	Terdapat rencana pemanfaatan sumber energi listrik dari sumber energi terbarukan.	1
TOTAL POIN				34

b. Prosedur identifikasi informasi.

Langkah-langkah dalam mengidentifikasi informasi yang berkaitan dengan perhitungan ulang efisiensi energi adalah sebagai berikut.

No.	Elemen Kompetensi	Kriteria Unjuk Kerja
1.	Mengumpulkan data perhitungan ulang efisiensi energi	Standar, data dan informasi diidentifikasi sesuai dengan prosedur.
		Data dan informasi dikumpulkan sesuai dengan prosedur.
		Hasil pengumpulan data dan informasi disusun sesuai dengan ketentuan.

2.	Meninjau perhitungan persyaratan dasar dalam efisiensi energi bangunan sarana prasarana bangunan gedung hijau	Ketersediaan kwh dan sub-kwh meter untuk sistem tata udara, tata cahaya dan sistem beban lain diidentifikasi sesuai dengan ketentuan.
		Hasil perhitungan unsur terkait perhitungan luas selubung bangunan (<i>overall thermal transfer value/OTTV</i>) dikaji ulang luasannya sesuai dengan ketentuan.
		Hasil perhitungan luas selubung bangunan yang terkait (<i>overall thermal transfer value/OTTV</i>) diperiksa perpindahan panasnya sesuai dengan ketentuan.
		Hasil pemeriksaan yang terkait luas selubung bangunan (<i>overall thermal transfer value/OTTV</i>) dinilai sesuai dengan prosedur untuk pemeringkatan bangunan gedung hijau.
3.	Memeriksa hasil perhitungan efisiensi energi	Unsur terkait perhitungan efisiensi energi pada tata udara transportasi vertikal, pencahayaan buatan, dan ketersediaan ventilasi non-AC diidentifikasi sesuai dengan spesifikasi.
		Hasil perhitungan efisiensi energi, pencahayaan buatan, transportasi vertikal dan pengondisian udara diperiksa sesuai dengan persyaratan dalam spesifikasi.
		Hasil pemeriksaan yang terkait efisiensi energi dinilai sesuai dengan ketentuan untuk pemeringkatan bangunan gedung hijau.
4.	Menganalisa hasil perhitungan ketersediaan pencahayaan alami	Unsur terkait perhitungan ketersediaan pencahayaan alami diidentifikasi sesuai dengan spesifikasi.
		Hasil perhitungan intensitas cahaya dalam ruang, sistem ventilasi, sistem pengondisian udara, dan ketersediaan lux sensor diperiksa sesuai dengan spesifikasi.
		Hasil pemeriksaan yang terkait ketersediaan pencahayaan alami dinilai sesuai dengan ketentuan.

5.	Mereview hasil perhitungan reduksi Carbon Dioksida (CO ₂) untuk mengurangi dampak perubahan iklim	Efisiensi energi diidentifikasi sesuai dengan ketentuan.
		Efisiensi energi yang tercapai dikonversi ke dalam CO ₂ <i>equivalen</i> sesuai dengan ketentuan.
		Hasil konversi berupa reduksi CO ₂ untuk mengurangi dampak perubahan iklim dinilai sesuai dengan ketentuan.
6.	Menghitung ketersediaan energi terbarukan	Ketersediaan energi terbarukan diidentifikasi sesuai dengan ketentuan.
		Perhitungan yang terkait ketersediaan energi terbarukan diperiksa sesuai dengan ketentuan.
		Hasil pemeriksaan konversi yang terkait ketersediaan energi terbarukan dinilai sesuai dengan ketentuan.
7.	Melakukan evaluasi perhitungan	Data hasil perhitungan terkait efisiensi energi dikumpulkan sesuai dengan ketentuan.
		Hasil perhitungan unsur-unsur terkait efisiensi energi dan sistem kelistrikan diperiksa sesuai dengan ketentuan.
		Hasil pemeriksaan dibuat dalam bentuk lembar kerja sesuai dengan ketentuan.

2. Pengumpulan data dan informasi sesuai dengan prosedur.

Dalam proses pengumpulan data dan informasi mengenai efisiensi energi pada bangunan gedung hijau, diperlukan penerapan prosedur yang sistematis. Salah satu aspek utama yang menjadi perhatian adalah selubung bangunan yang berfungsi sebagai elemen pelindung dalam sebuah bangunan. Selubung ini terdiri dari dinding dan atap, di mana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen-elemen tersebut. Oleh karena itu, karakteristik material yang digunakan dalam selubung bangunan sangat menentukan efisiensi energi secara keseluruhan.

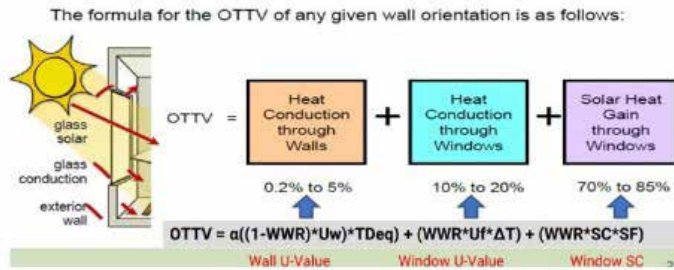
Faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam desain selubung bangunan adalah kemampuan material dalam mengontrol perpindahan panas. Pemilihan material yang dapat menghambat atau mengurangi perpindahan panas, seperti isolasi tambahan, kaca berlapis (*double glass*), spandrel dan parapet, serta panel surya terintegrasi dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi energi. Material dengan isolasi termal yang baik membantu mengurangi kehilangan energi termal sehingga dapat menekan konsumsi energi untuk pendinginan atau pemanasan ruangan.

Untuk mengevaluasi efisiensi energi pada bangunan gedung hijau, terdapat beberapa metode perhitungan yang digunakan sebagaimana berikut.

a. Perhitungan OTTV (*overall thermal transfer value*)

Salah satu indikator efisiensi energi pada bangunan adalah kesesuaiannya dengan standar perhitungan. Hal ini dapat diukur melalui nilai OTTV. OTTV menggambarkan total perpindahan panas melalui dinding luar bangunan yang memiliki orientasi atau arah tertentu dan dinyatakan dalam satuan Watt/m^2 . Dalam perhitungan OTTV, kaca memiliki peran dominan dalam konsumsi energi dengan kontribusi terhadap *cooling load* mencapai 90% yang terdiri dari 15% kontribusi langsung dan 75% kontribusi tambahan akibat efek radiasi panas.

Nilai *overall thermal transfer value* (OTTV) yang menunjukkan perpindahan panas menyeluruh pada setiap bidang dinding luar bangunan dengan orientasi tertentu harus ditentukan menggunakan rumus perhitungan yang sesuai.



Gambar 4.1: Rumus Perhitungan OTTV

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Direktorat Kompetensi dan Produktivitas Konstruksi, 2023

$$OTTV = \alpha[(U_w \times (1 - WWR) \times TD_{Ek}] + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF)$$

dengan:

OTTV =	Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m ²);
α =	Absorbtansi radiasi matahari. (Tabel 1 dan 2)
U_w =	Transmitan termal dinding tidak tembus cahaya (W/m ² .K);
WWR =	Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan;
TD_{Rk} =	Beda temperatur ekuivalen (K);
SF =	Faktor radiasi matahari (W/m ²);
SC =	Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi;
U_f =	Transmitan termal fenestrasi (W/m ² .K);
ΔT =	Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam. (diambil 5K)

b. Perhitungan WWR (*window to wall ratio*)

WWR (*window to wall ratio*) merupakan rasio antara luas jendela terhadap luas dinding luar suatu bangunan. Nilai WWR berpengaruh terhadap efisiensi energi karena menentukan seberapa besar energi yang masuk dan keluar melalui jendela sehingga memengaruhi konsumsi energi keseluruhan pada bangunan.

3. Pengumpulan data dan informasi sesuai desain lainnya.

a. Sistem pengendalian udara

Sistem pengendalian udara atau yang lebih dikenal sebagai AC (*air conditioning*) berfungsi untuk menjaga suhu dan kelembapan udara dalam suatu ruangan agar tetap sesuai dengan standar kenyamanan yang telah ditetapkan. Selain itu dalam upaya meningkatkan efisiensi energi bangunan, sistem ini memainkan peran yang sangat penting, mengingat AC merupakan salah satu perangkat dengan tingkat konsumsi energi tertinggi.

Untuk memastikan pengoperasian AC yang efisien, diperlukan beberapa langkah sebagai berikut.

1) Pengukuran suhu dan kelembapan

Dalam perancangan sistem pengendalian udara, parameter suhu (*temperature*/T) dan kelembapan relatif (*relative humidity*/RH) harus diperhatikan untuk memastikan kenyamanan dan efisiensi energi. Kondisi udara luar ditetapkan dengan suhu sebesar 33°C DBT (*dry bulb temperature*) dan 27°C WBT (*wet bulb temperature*). Sementara itu untuk semua ruangan yang dikondisikan, suhu ideal yang dianjurkan adalah sekitar 25°C dengan toleransi $\pm 1^\circ\text{C}$, sedangkan kelembapan relatif dipertahankan pada 60% dengan toleransi $\pm 10\%$ RH.

2) Perhitungan COP dan kW/TR

Dalam penerapan efisiensi energi pada bangunan, nilai kW/TR atau *coefficient of performance* (COP) dari sistem pengondisian udara harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 6390:2020 atau edisi terbaru. COP sendiri mengacu pada rasio antara efek refrigerasi yang dihasilkan dengan energi yang digunakan oleh kompresor. Jika suatu bangunan dirancang tanpa menggunakan sistem pengondisian udara maka efisiensi energi dapat tercapai secara optimal.

b. Sistem pencahayaan buatan

Sistem pencahayaan buatan memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi bangunan. Pemilihan jenis lampu yang tepat, penerapan sistem pengendalian pencahayaan yang optimal, serta pemanfaatan cahaya alami secara efektif dapat membantu mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu. Selain itu, penggunaan perangkat pencahayaan yang hemat energi semakin memperkuat upaya efisiensi tersebut.

Untuk memastikan pencahayaan buatan yang efisien, sistem pencahayaan dalam ruangan harus dirancang dengan mempertimbangkan daya maksimum serta tingkat pencahayaan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 6197:2020 atau edisi terbaru sebagaimana berikut.

1) Simulasi pencahayaan

Pencahayaan dalam bangunan dapat dianalisis menggunakan perangkat lunak simulasi seperti Dialux. Simulasi ini berfungsi untuk menentukan kebutuhan daya, jenis, jumlah, serta posisi lampu dengan menyesuaikan standar intensitas cahaya (Lux) sesuai dengan fungsi masing-masing ruangan.

Penggunaan lampu LED (*light emitting diode*) menjadi pilihan yang lebih efisien karena memiliki rasio lumen per Watt yang lebih tinggi dibandingkan jenis lampu lainnya. Dengan konsumsi daya yang lebih rendah, lampu LED mampu menghasilkan fluks cahaya yang optimal sehingga mendukung efisiensi energi secara keseluruhan.

2) Lokasi penempatan titik lampu

Pencahayaan buatan dianggap memenuhi standar apabila dalam ruangan dengan luas lebih dari 30 m² terdapat lebih dari satu saklar. Selain itu, area yang menerima cahaya alami harus memiliki sistem pengelompokan lampu yang terpisah dari area yang tidak mendapatkan cahaya alami sehingga penggunaan energi dapat lebih efisien dan optimal.

3) Sensor penghuni/pengendali pencahayaan

Sistem pencahayaan pada ruangan dengan fungsi tertentu harus dilengkapi dengan sensor keberadaan penghuni atau pengendali pencahayaan yang sesuai dengan standar SNI 6197:2020 atau edisi terbaru.

Selain itu, area yang menerima pencahayaan alami dalam jumlah yang mencukupi. Pencahayaan ini perlu dilengkapi dengan sensor intensitas cahaya (lux) yang secara otomatis mengatur penyalan lampu agar tetap sesuai dengan tingkat pencahayaan yang telah ditetapkan sehingga konsumsi energi dapat lebih efisien.

c. Sistem transportasi dalam gedung

Sistem transportasi dalam gedung, seperti lift (elevator), eskalator, dan konveyor memiliki peran krusial dalam mobilitas pengguna serta efisiensi energi bangunan. Dengan meningkatnya kebutuhan akan transportasi vertikal di gedung-gedung bertingkat, penerapan teknologi hemat energi menjadi prioritas utama dalam perencanaan dan pengelolaan sistem transportasi modern.

Beberapa aspek utama yang perlu diperhatikan dalam optimasi sistem transportasi dalam gedung adalah sebagai berikut.

1) Analisis lalu lintas lift (*traffic analysis lift*)

Perhitungan analisis lalu lintas lift harus mengikuti standar SNI 03-6573-2001 atau edisi terbaru untuk memastikan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi dalam gedung. Jika suatu bangunan dirancang tanpa menggunakan lift maka efisiensi energi dapat lebih terjaga.

Dalam proses perhitungan, perlu mempertimbangkan zonasi lantai yang dilayani serta teknologi distribusi pengguna sehingga spesifikasi lift dan lokasi pemasangannya dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasional bangunan secara optimal.

Berikut perhitungan analisis lalu lintas lift harus mengikuti standar SNI 03-6573-2001 atau edisi terbaru.

LIFT TRAFFIC ANALYSIS					
No. of elevators	2	Running open ($Y=1, N=2$)	1		
Speed (mpm)	120	Entrance ($C=1$; Side op= 2)	1		
Capacity (person)	13	Opening (W : mm)	800		
No. of Floors	11	Population (By Prog.=1)	420		
No. of Stops	11	Floor area (m ²)	0.00		
Total Floor Length (m)	39	Rental ratio	0.75	Std: 0.75	
SL (Travel/Local Interval Length; m)	35.4	Area occupied (m ²)	12.5	Std: 120	
SE (Express Interval Length; m)	3.6	Time Loss	0.1	Std: 0.1	
Average waiting interval: 53.88 Sec					
5-minute handling capacity: 13.78 %					
		Project:	HARTAMAJU - HIGH ZONE		
		Model :	DIS-PA18-C0300	Bldg:	OFFICE

Gambar 4.2 Lift traffic analysis

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Direktorat Kompetensi dan Produktivitas Konstruksi, 2023

- 2) Elevator dengan teknologi *variable voltage variable frequency* (VVVF)

Untuk sistem transportasi vertikal, penggunaan teknologi *variable voltage variable frequency* (VVVF) pada elevator direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kinerja operasional. Teknologi ini memungkinkan konversi tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC) dengan fleksibilitas dalam mengatur besaran tegangan dan frekuensinya sehingga mendukung operasi yang lebih stabil, hemat energi, dan responsif terhadap beban yang bervariasi.

- 3) Elevator dengan teknologi *slow motion* atau *on/off automatic*
Teknologi *slow motion* atau *on/off automatic* dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dengan menyesuaikan operasional lift berdasarkan pola penggunaan. Sistem ini memungkinkan lift untuk beroperasi dalam mode lambat (*slow motion*) atau berhenti otomatis (*on/off*) ketika tidak ada permintaan dari pengguna dalam jangka waktu tertentu.

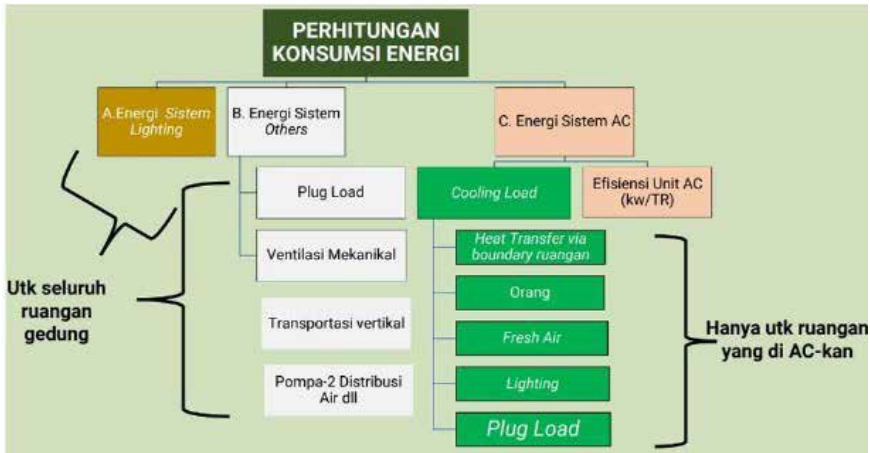
- d. Sistem kelistrikan

Kebutuhan listrik pada sistem pendingin udara, pencahayaan buatan, dan transportasi dalam gedung memerlukan perencanaan

sistem kelistrikan yang tepat agar dapat mendukung efisiensi energi secara optimal. Untuk mencapai tujuan tersebut, terdapat beberapa strategi yang dapat diterapkan, yaitu sebagai berikut.

- 1) Pengelompokan beban listrik
Perencanaan bangunan gedung perlu mencakup pengelompokan beban listrik, di mana setiap kelompok dilengkapi dengan kWh meter tersendiri, serta disediakan submeter untuk pemantauan konsumsi energi listrik pada sumber daya utama yang berkapasitas lebih dari 100 kVA.
- 2) BMS pada sistem pengendalian udara terpusat
Bangunan yang menggunakan sistem pengendalian udara terpusat (*centralized air conditioning system*) maupun sistem aliran refrigeran variabel (VRF) disarankan untuk menerapkan *building management system* (BMS) sebagai sarana pengendalian konsumsi listrik secara efisien dalam operasional gedung.
- 3) Perencanaan penggunaan energi listrik dari sumber energi terbarukan
Dibutuhkan perencanaan pemanfaatan energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan dengan mempertimbangkan kapasitas daya yang dihasilkan, proporsi kontribusinya terhadap total kebutuhan listrik bangunan, serta lokasi strategis untuk pemasangan panel surya atau sistem energi terbarukan lainnya

Kesimpulan perhitungan efisiensi energi



Gambar 4.3 Perhitungan efisiensi energi

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Direktorat Kompetensi dan Produktivitas Konstruksi, 2023

Gambar di atas menunjukkan skema perhitungan konsumsi energi gedung yang terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu energi sistem pencahayaan, sistem lainnya, dan sistem pendingin udara (AC). Energi pencahayaan digunakan di seluruh ruangan karena merupakan kebutuhan dasar. Energi sistem lainnya mencakup penggunaan listrik untuk peralatan elektronik (*plug load*), ventilasi mekanis, lift dan eskalator, serta pompa distribusi air yang semuanya berlaku untuk seluruh gedung.

Sementara itu, energi sistem AC hanya digunakan pada ruangan berpendingin yang dihitung berdasarkan beban pendinginan (*cooling load*) dan efisiensi unit AC (kw/TR). *Cooling load* dipengaruhi oleh perpindahan panas dari luar, panas tubuh manusia, udara segar, serta panas dari lampu dan peralatan listrik. Oleh karena itu, penghematan konsumsi energi listrik menjadi langkah strategis dalam mendukung efisiensi energi secara keseluruhan, terutama di bangunan gedung modern.

Dalam hal ini, terdapat beberapa aspek penting yang dapat dioptimalkan sebagaimana berikut.

1. Efisiensi pada *chiller plant*.

Chiller plant menjadi komponen utama dalam sistem pendingin gedung. *Chiller* merupakan unit yang mengonsumsi energi dalam jumlah besar sehingga optimalisasi performa *chiller* melalui pemilihan jenis yang efisien, pengaturan suhu kerja yang tepat, serta perawatan rutin dapat secara signifikan mengurangi konsumsi listrik. Selain itu, integrasi sistem manajemen energi berbasis otomatisasi juga membantu dalam memantau dan menyesuaikan kinerja *chiller* sesuai kebutuhan aktual.

2. Sistem distribusi udara yang efisien.

Distribusi udara yang efisien sangat penting dalam menjaga kenyamanan termal ruangan tanpa memboroskan energi. Hal ini mencakup perencanaan tata letak saluran udara yang baik, pemanfaatan *variable air volume* (VAV), serta penggunaan kipas dan motor yang hemat energi. Sistem distribusi yang efisien memastikan bahwa udara dingin atau hangat tersebar secara merata dan hanya ke area yang memerlukan.

3. Pencahayaan hemat energi.

Pencahayaan hemat energi menjadi langkah yang sangat efektif, terutama dengan mengganti lampu konvensional menjadi lampu LED yang jauh lebih efisien dan tahan lama. Selain itu, desain tata cahaya yang mempertimbangkan pencahayaan alami dapat mengurangi kebutuhan lampu di siang hari.

4. Sensor gerak dan sensor cahaya.

Penerapan sensor gerak dan sensor cahaya dapat secara otomatis mengatur kapan dan di mana lampu atau sistem lain harus menyala atau mati. Hal ini tergantung pada keberadaan orang dan intensitas cahaya alami. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga mendorong perilaku hemat energi secara tidak langsung.

5. Penggunaan lift dan elevator hemat energi.

Penggunaan lift dan elevator hemat energi juga berkontribusi besar terhadap efisiensi listrik. Misalnya teknologi *regenerative drive*

memungkinkan energi yang dihasilkan saat lift bergerak ke bawah digunakan kembali untuk sistem lain di gedung. Pengaturan waktu operasional, prioritas penggunaan, dan integrasi kontrol otomatis juga mendukung efisiensi operasionalnya.

Meninjau Perhitungan Dasar Efisiensi Energi pada Sarana dan Prasarana Bangunan Gedung Hijau

Dalam meninjau perhitungan dasar efisiensi energi pada sarana dan prasarana bangunan gedung hijau, salah satu aspek penting yang harus dipahami adalah konsep dasar mengenai Kilowatt-hour (kWh) serta peran alat pengukurnya, yaitu kWh meter dan sub-kWh meter. Pengukuran konsumsi energi melalui perangkat ini diperlukan untuk memantau penggunaan listrik pada berbagai sistem dalam bangunan, seperti sistem tata udara (penghawaan atau pendinginan), tata cahaya (pencahayaan), serta sistem beban lainnya seperti peralatan elektronik.

Secara definisi, kWh merupakan singkatan dari Kilowatt-hour, yaitu satuan yang digunakan untuk mengukur jumlah energi listrik yang dikonsumsi. Satu Kilowatt-hour menunjukkan penggunaan daya listrik sebesar satu kilowatt (1.000 watt) selama satu jam. Perhitungan ini dapat dirumuskan secara sederhana sebagai berikut.

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ jam}$$

Konsep ini umum digunakan oleh penyedia listrik untuk menghitung konsumsi energi pelanggan. Sebagai contoh, jika sebuah perangkat listrik memiliki daya 1 kilowatt dan digunakan selama satu jam maka energi yang dikonsumsi adalah sebesar 1 kWh.

Dalam konteks bangunan gedung hijau, penggunaan kWh meter dan sub-kWh meter sangat diperlukan agar konsumsi energi setiap sistem dapat dipantau secara terpisah. Pemisahan ini memungkinkan analisis yang lebih rinci terhadap penggunaan energi di setiap komponen bangunan sehingga mempermudah identifikasi area yang boros energi dan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam upaya penghematan.



Selain itu, kWh juga menjadi acuan utama dalam perhitungan tagihan listrik baik untuk rumah tangga maupun bangunan komersial. Nilai kWh yang tercantum pada tagihan menunjukkan total energi listrik yang digunakan dalam periode tertentu, biasanya setiap bulan. Semakin tinggi konsumsi listrik maka semakin besar pula tagihan yang harus dibayarkan.

Untuk mengukur nilai tersebut, digunakan perangkat yang disebut Kilowatt-hour meter atau kWh meter. Alat ini berfungsi mencatat jumlah energi listrik yang digunakan dalam satuan kWh. kWh meter umumnya dipasang di berbagai lokasi, seperti rumah tinggal, gedung perkantoran, fasilitas industri, dan tempat lainnya yang memerlukan pemantauan konsumsi energi secara akurat dan berkelanjutan.

Fungsi utama kWh meter adalah merekam energi listrik yang digunakan selama periode tertentu. Saat sebuah perangkat atau sistem listrik beroperasi, kWh meter mencatat energi yang mengalir melalui rangkaian listriknya. Jumlah yang dicatat tergantung pada daya listrik perangkat dan lama waktu pemakaiannya. kWh meter tersedia dalam berbagai bentuk, mulai dari model mekanik konvensional yang menggunakan roda pemutar yang berputar seiring aliran listrik, hingga versi elektronik modern dengan teknologi digital yang lebih canggih dan presisi. Data yang terekam oleh alat ini menjadi dasar perhitungan tagihan listrik oleh perusahaan penyedia energi.

Untuk menunjang efisiensi energi secara menyeluruh dalam bangunan gedung hijau, pengukuran energi tidak hanya dilakukan pada level total konsumsi, melainkan juga pada masing-masing sistem utama. Oleh karena itu, diperlukan penggunaan sub-kWh meter sebagai alat ukur tambahan yang dapat memberikan pemantauan lebih rinci. Pengelompokan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Sub kWh meter untuk sistem tata udara.

Dalam sistem tata udara, kWh meter sering disebut sebagai *energy meter* atau *power meter*. Fungsinya tetap untuk mengukur konsumsi energi listrik dalam satuan Kilowatt-hour (kWh), namun khusus digunakan untuk sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*).

Sistem ini mencakup perangkat seperti AC, pemanas, dan kipas yang bekerja menggunakan listrik.

Energy meter dipasang pada sumber listrik yang menyuplai sistem HVAC dan mencatat penggunaan energi dalam periode tertentu. Data dari alat ini membantu pengelola gedung memantau konsumsi energi, mengevaluasi efisiensi, serta mengidentifikasi potensi pemborosan atau gangguan sistem. Dengan demikian, penggunaan kWh meter pada sistem tata udara mendukung penghematan energi dan efisiensi biaya operasional.

2. Sub kWh meter untuk sistem tata cahaya.

Dalam sistem tata cahaya, perangkat yang tepat untuk mengukur konsumsi energi listrik adalah *energy meter* atau *electricity meter*, bukan “kWh meter” secara khusus. Alat ini mencatat total energi yang digunakan oleh sistem pencahayaan dalam suatu bangunan atau area.

Sistem tata cahaya mencakup berbagai jenis lampu, seperti LED, pijar, atau neon, serta perangkat pengendali seperti saklar, *dimmer*, atau sistem otomatisasi. *Energy meter* yang terhubung ke sumber listrik utama akan mencatat konsumsi energi dalam periode tertentu sehingga membantu pemilik bangunan dalam menghitung biaya listrik.

Pemantauan konsumsi energi dengan *energy meter* memungkinkan pengelola bangunan meningkatkan efisiensi energi, misalnya dengan mengganti lampu hemat energi atau mengoptimalkan sistem pencahayaan otomatis.

3. Sub kWh meter untuk sistem beban lainnya.

kWh meter juga digunakan untuk mengukur konsumsi energi berbagai perangkat dan sistem listrik sebagaimana berikut.

a. Perangkat elektronik

Komputer, televisi, perangkat audio, serta peralatan dapur seperti kulkas, oven, dan *microwave*.

b. Mesin industri

Mesin produksi seperti pemroses, pengelas, pemotong, dan kompresor.

- c. Peralatan kantor
Komputer, printer, fotokopi, mesin pembuat kopi, dan pencahayaan kantor.
- d. Penerangan jalan umum
Mengukur konsumsi listrik lampu penerangan di area publik.
- e. Kendaraan listrik
Memonitor energi yang digunakan untuk mengisi baterai kendaraan listrik.
- f. Bangunan dan fasilitas lainnya
Menghitung konsumsi listrik secara keseluruhan, termasuk pencahayaan, lift, dan sistem HVAC.

Dengan pemantauan melalui kWh meter, konsumsi energi dapat dikelola secara lebih efisien. Hal ini membantu pengurangan biaya operasional dan mendukung penggunaan energi yang lebih berkelanjutan. Untuk memastikan pemantauan konsumsi energi yang efektif pada sistem tata udara, tata cahaya, dan beban listrik lainnya dalam suatu bangunan, langkah-langkah berikut dapat diterapkan.

1. Survei sistem
Lakukan survei menyeluruh terhadap sistem tata udara, tata cahaya, dan beban listrik lainnya. Identifikasi cara kerja serta koneksi masing-masing sistem dengan pasokan listrik.
2. Konsultasi regulasi dan standar
Rujuk pedoman serta regulasi setempat atau nasional terkait pemantauan energi. Standar ini memberikan arahan tentang jenis meter yang digunakan dan cara penerapannya.
3. Penentuan tujuan pemantauan
Tentukan apakah pemantauan bertujuan untuk mengukur konsumsi energi keseluruhan atau hanya pada subsistem atau peralatan tertentu.
4. Pemilihan jenis meter
Pilih kWh meter utama untuk pemantauan total energi dan sub-kWh meter untuk mengukur konsumsi pada unit atau peralatan tertentu.

5. Penentuan lokasi pemasangan

Pastikan meter ditempatkan di lokasi strategis yang mudah diakses dan mewakili konsumsi energi sistem yang diukur, seperti titik masuk atau keluar daya pada sistem tata udara.

6. Implementasi dan pemantauan berkelanjutan

Integrasikan data meter dengan sistem pemantauan energi atau manajemen bangunan. Lakukan analisis berkala untuk mengidentifikasi peluang penghematan dan meningkatkan efisiensi energi.

7. Evaluasi dan perbaiki

Tinjau data pemantauan secara rutin dan manfaatkan informasi yang diperoleh untuk mengidentifikasi peluang peningkatan efisiensi. Jika ditemukan area dengan konsumsi energi yang tinggi atau kurang efisien, lakukan tindakan perbaikan yang diperlukan guna mengoptimalkan kinerja sistem.

Dengan mengidentifikasi keberadaan kWh dan sub-kWh meter pada sistem tata udara, tata cahaya, serta beban listrik lainnya, konsumsi energi bangunan dapat dipantau secara optimal. Langkah ini memungkinkan pengungkapan peluang penghematan energi serta mendukung upaya efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan energi.

Memeriksa Hasil Perhitungan Efisiensi Energi

Dalam meninjau hasil perhitungan efisiensi energi, terdapat sejumlah parameter yang perlu diperiksa dan dianalisis sebagaimana berikut.

No	Efisiensi Energi	Parameter	Dokumen Pembuktian	Keterangan
1.	Selubung bangunan	Perhitungan OOTV (Watt/m^2)	File excel perhitungan OTTV dilampirkan hanya untuk selubung bangunan yang menjadi dinding luar ruang yang ber-AC	
			Gambar potongan selubung bangunan	
			Apabila bangunan tidak dikondisikan mendapatkan nilai penuh	
		Perhitungan WWR	Adanya gambar teknis, tampak bangunan	
			Adanya perhitungan Nilai WWR	
2.	Sistem ventilasi	Ventilasi alami	Adanya gambar denah ruangan yang tidak dikondisikan	
			Perhitungan ventilasi untuk kenyamanan tergantung ventilasi alami atau mekanis	
3.	Sistem pengondisian udara	Pengukuran suhu dan kelembapan udara	Dalam RKS disebut perencanaan suhu dan RH	
			Setiap penurunan 1 deg C, energi lebih boros 6% - 7%	
			Disebut RKS bab berapa dan halaman berapa	
		Perhitungan COP dan kW/TR	RKS: tercantum, diuraikan peralatan dan jenis tipe sistem AC yang digunakan	
			kW/TR atau COP harus tercantum dalam RKS	
			Minimum COP atau maximum KW/TR sesuai SNI-6390-2020	
			Disebut RKS bab berapa dan halaman berapa	

4.	Sistem pencahayaan buatan	Simulasi pencahayaan	Letak lokasi <i>lighting fixtures</i>	
			<i>Output</i> hasil simulasi Dialux untuk <i>artificial lighting</i> dengan kuat pencahayaan dan LPD (<i>light power density</i>) memenuhi SNI- 6197-2020	
			RKS memuat spesifikasi lampu yang digunakan	
		Lokasi penempatan titik lampu	Gambar teknis yang menunjukkan:	
			a. Denah yang menunjukkan fungsi dan luas ruangan; b. Lokasi penempatan titik lampu di setiap ruangan dan pengelompokan lampu setiap ruang c. Lokasi penempatan saklar lampu;	
		Sensor Penghuni/ Pengendali Pencahayaan	Data luas ruangan beserta jumlah saklar lampu	
			Adanya spesifikasi sensor di RKS (<i>occupancy, motion sensor</i> atau <i>timer</i>)	
			Letak sensor pada ruang-ruang tertentu seperti: toilet, mushola, ruang laktasi	

5.	Sistem transportasi dalam gedung	Perhitungan <i>traffic analysis lift</i>	Gambar teknis yang menunjukkan lokasi penempatan lift dan diagram skematik lift	
			RKS yang menunjukkan spesifikasi lift	
			Perhitungan <i>traffic analysis lift</i> berdasarkan zonasi lantai pelayanan lift dan berdasarkan teknologi pendistribusian pengguna lift	
		Elevator dengan teknologi VVVF	Gambar teknis yang menunjukkan lokasi penempatan elevator dan diagram skematik elevator	
			RKS yang menunjukkan spesifikasi elevator dan fitur hemat energi pada elevator	
		Elevator dengan teknologi <i>slow motion</i> atau <i>on/off automatic</i>	Gambar teknis yang menunjukkan lokasi penempatan escalator dan diagram skematiknya	
			RKS yang menunjukkan spesifikasi <i>escalator</i> dan fitur hemat energi pada eskalator	
6.	Perhitungan efisiensi energi	Penghematan konsumsi energi listrik	Adanya hasil perhitungan penghematan konsumsi energi listrik dengan menggunakan <i>template spreadsheet excel</i>	

7.	Sistem kelistrikan	Pengelompokan beban listrik	Adanya gambar teknis yang menunjukkan diagram satu garis elektrikal	
			Adanya gambar teknis yang menunjukkan detail panel induk, panel distribusi, dan panel lainnya	
			Adanya gambar teknis yang menunjukkan detail panel yang memiliki beban lebih dari 100 kVA	
			Adanya gambar teknis yang menunjukkan lokasi penempatan kWh meter	
		BMS pada sistem pengondisian udara terpusat	Gambar teknis menunjukkan a. Diagram skematik BMS b. Detail instalasi BMS	
			Dokumen spesifikasi BMS yang menunjukkan input/ <i>output</i> BMS dan parameter yang dapat diatur oleh BMS	
		Rencana pemanfaatan sumber energi listrik dari sumber energi terbarukan	Diagram sumber listrik dari sumber energi terbarukan	
			Detail sumber energi terbarukan	
			Lokasi penempatan sumber energi terbarukan	
			RKS spesifikasi sumber energi terbarukan dan penggunaannya pada bangunan gedung	



Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB V

STRATEGI MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI DALAM BANGUNAN GEDUNG HIJAU

Desain Pasif untuk Efisiensi Energi

Desain pasif merupakan strategi arsitektur yang memanfaatkan kondisi lingkungan alami untuk menekan konsumsi energi dalam bangunan tanpa bergantung pada sistem mekanis atau listrik tambahan. Pendekatan ini mengutamakan optimasi pencahayaan alami, ventilasi, insulasi, serta pengendalian panas. Hal ini bertujuan meningkatkan kenyamanan penghuni sekaligus mengurangi kebutuhan energi, terutama dalam aspek penerangan, pemanasan, dan pendinginan udara (Winandari dkk., 2023).

Dalam implementasinya, desain pasif berperan penting dalam efisiensi energi karena dapat secara signifikan mengurangi kebutuhan daya listrik untuk sistem HVAC serta pencahayaan. Desain pasif berlandaskan pada beberapa prinsip utama yang bertujuan untuk mengoptimalkan interaksi bangunan dengan lingkungannya, di antaranya sebagai berikut.

1. Bentuk dan orientasi bangunan gedung.

Desain bangunan yang kompak dan minim sudut tajam membantu mengurangi hambatan angin dan turbulensi, serta meningkatkan efisiensi aliran udara. Orientasi bangunan juga berperan penting dalam desain pasif karena memengaruhi pencahayaan alami, ventilasi, dan pengendalian suhu ruangan.

Di wilayah beriklim tropis, bangunan sebaiknya menghadap utara atau selatan untuk menghindari paparan langsung sinar matahari dari timur dan barat yang dapat meningkatkan suhu dalam ruangan. Orientasi ini memungkinkan pemanfaatan sinar matahari untuk pencahayaan alami dan penghangatan saat musim dingin sekaligus mengurangi panas berlebih di musim panas.

2. Fasad bangunan gedung.

Fasad berperan penting dalam menentukan kinerja termal dan visual bangunan. Desain fasad yang tepat dapat mengurangi beban pendinginan dengan meminimalkan masuknya panas matahari sekaligus memaksimalkan pencahayaan alami. Penggunaan elemen seperti kisi-kisi, pelindung matahari, serta material dengan reflektansi tinggi mampu mengendalikan radiasi matahari tanpa mengorbankan kenyamanan visual. Selain itu, fasad yang dirancang secara responsif terhadap orientasi matahari dan kondisi iklim setempat akan meningkatkan efisiensi energi sekaligus mendukung estetika bangunan secara keseluruhan.

3. Penggunaan *shading* atau peneduh.

Penggunaan elemen peneduh pada bangunan memberikan kontribusi besar terhadap efisiensi energi, khususnya dalam membatasi masuknya radiasi matahari melalui jendela. *Shading* mampu menurunkan risiko pemanasan berlebih di dalam ruangan, sehingga kinerja sistem pendingin menjadi lebih efisien. *Shading* juga mendukung pencahayaan alami tanpa menimbulkan silau, memberikan perlindungan terhadap radiasi ultraviolet (UV), serta menciptakan kenyamanan termal bagi penghuni.

Jenis-jenis peneduh yang umum digunakan meliputi peneduh vertikal, peneduh horizontal, serta fasad berlapis ganda (*double skin façade*) yang dapat disesuaikan dengan orientasi bangunan dan kondisi iklim di lokasi pembangunan.

4. Ventilasi alami.

Ventilasi alami memungkinkan pertukaran udara secara alami tanpa perlu menggunakan sistem pendingin buatan, seperti AC atau kipas angin. Prinsip ini memanfaatkan pergerakan angin dan perbedaan tekanan udara untuk menciptakan sirkulasi udara yang lebih baik dalam ruangan.

Strategi ventilasi alami dapat diterapkan melalui desain jendela silang (*cross ventilation*), penggunaan ventilasi atap, serta pemanfaatan ventilasi vertikal (*stack effect*) yang mendorong udara panas keluar melalui lubang di bagian atas bangunan. Dengan perencanaan yang tepat, ventilasi alami dapat meningkatkan kualitas udara dalam ruangan dan mengurangi beban energi yang diperlukan untuk pendinginan.

5. Manajemen panas dan insulasi termal.

Manajemen panas dan insulasi termal sangat penting dalam desain pasif untuk mengurangi perpindahan panas antara lingkungan luar dan dalam bangunan. Insulasi yang baik dapat mempertahankan suhu ruangan tetap stabil, baik saat cuaca panas maupun dingin. Penggunaan bahan isolasi termal seperti panel insulasi, dinding berlapis, serta jendela berlapis ganda (*double-glazed windows*) dapat membantu mengurangi perpindahan panas yang tidak diinginkan. Selain itu, perancangan atap dengan ventilasi yang baik dan penggunaan warna terang pada permukaan eksterior dapat mengurangi penyerapan panas berlebih.

6. Massa termal (*thermal massing*).

Massa termal mengacu pada kemampuan suatu material untuk menyerap, menyimpan, dan melepaskan panas secara bertahap. Material dengan massa termal tinggi, seperti beton, batu bata, serta tanah liat dapat membantu menstabilkan suhu dalam ruangan dengan menyerap

panas di siang hari dan melepaskannya pada malam hari saat suhu lebih rendah. Konsep ini sangat bermanfaat dalam menjaga kenyamanan termal tanpa perlu banyak intervensi mekanis, terutama di daerah dengan perbedaan suhu yang signifikan antara siang dan malam.

7. Penggunaan material reflektif.

Material reflektif digunakan untuk mengurangi penyerapan panas dari radiasi matahari, terutama pada atap dan dinding eksterior bangunan. Permukaan dengan warna terang atau bahan yang memiliki indeks reflektansi tinggi dapat memantulkan sebagian besar radiasi matahari sehingga mengurangi pemanasan berlebih pada bangunan.

Teknologi seperti cat reflektif, lapisan atap berwarna terang (*cool roofs*), serta penggunaan kaca *low-emissivity* (*low-E*) pada jendela dapat membantu meningkatkan efisiensi energi dengan menjaga suhu dalam bangunan tetap nyaman tanpa perlu pendinginan tambahan.

Untuk mewujudkan efisiensi energi dalam bangunan, Syanuna (2024) menyebutkan beberapa strategi desain pasif yang dapat dikategorikan ke dalam beberapa aspek utama sebagai berikut.

1. Pengendalian radiasi matahari (*solar control*).

Pengendalian radiasi matahari berperan dalam mengatur jumlah sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan sehingga dapat mengurangi beban pendinginan dan mencegah kenaikan suhu berlebih di dalam ruangan. Beberapa teknik yang digunakan meliputi orientasi bangunan yang optimal, pemasangan *overhang* atau atap pelindung, penggunaan elemen *shading* seperti kisi-kisi dan tirai luar, serta pemanfaatan vegetasi sebagai peneduh alami.

2. Optimalisasi pencahayaan alami (*daylighting optimization*).

Pencahayaan alami berperan penting dalam mengurangi ketergantungan pada pencahayaan buatan yang secara langsung berkontribusi terhadap penghematan energi listrik. Optimalisasi pencahayaan alami dapat dicapai melalui penempatan jendela dengan orientasi yang tepat, penggunaan *skylight* atau *light shelf* untuk mendistribusikan cahaya

lebih merata, serta pemilihan material interior dengan daya pantul tinggi agar cahaya dapat tersebar dengan baik ke seluruh ruangan.

3. Ventilasi alami (*natural ventilation*).

Ventilasi alami memungkinkan sirkulasi udara yang optimal tanpa memerlukan sistem mekanis seperti kipas atau AC sehingga dapat mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan ruangan. Beberapa teknik ventilasi alami meliputi *cross ventilation* (ventilasi silang) yang memanfaatkan perbedaan tekanan udara untuk meningkatkan aliran udara, *stack effect* yang mengandalkan perbedaan suhu antara bagian bawah dan atas bangunan untuk menarik udara segar, serta penggunaan bukaan yang dirancang untuk mempercepat pergerakan udara.

4. Massa termal dan insulasi (*thermal mass and insulation*).

Massa termal mengacu pada kemampuan material bangunan dalam menyerap, menyimpan, dan melepaskan panas secara bertahap sehingga membantu menjaga stabilitas suhu dalam ruangan sepanjang hari. Material seperti beton, bata, dan batu alam dapat digunakan untuk menyerap panas pada siang hari dan melepaskannya saat suhu mulai menurun di malam hari.

Sementara itu, insulasi termal berfungsi untuk mengurangi perpindahan panas antara bagian dalam dan luar bangunan melalui dinding, atap, dan lantai. Dengan kombinasi massa termal dan insulasi yang tepat, kebutuhan energi untuk pemanasan atau pendinginan ruangan dapat ditekan secara signifikan.

Oleh karena itu, desain pasif memberikan berbagai keuntungan, di antaranya:

1. mengurangi konsumsi energi;
2. meningkatkan kenyamanan termal;
3. menekan biaya operasional;
4. memperpanjang umur bangunan; serta
5. mengurangi jejak karbon.

Dengan demikian, desain pasif menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi energi bangunan gedung hijau. Dengan

memanfaatkan pencahayaan alami, ventilasi, insulasi, dan kontrol radiasi matahari, bangunan dapat mengurangi ketergantungan pada energi listrik dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Implementasi desain pasif yang tepat dapat menghemat energi secara signifikan serta mendukung keberlanjutan lingkungan.

Optimalisasi Sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC)

Sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) merupakan salah satu penyumbang terbesar dalam konsumsi energi di sebuah bangunan. Pada rumah tangga pribadi, penggunaan energi listrik dapat mencapai 42%. Sementara secara global, bangunan mengonsumsi sekitar 40% dari total energi yang diproduksi (Pratama dan Astutik, 2024).

HVAC sendiri adalah sistem yang digunakan untuk mengatur suhu, kelembapan, dan kualitas udara di dalam ruangan atau bangunan yang menyerap sebagian besar energi dalam bangunan. Untuk itu, audit energi dilakukan secara berkala untuk mengevaluasi konsumsi energi sistem HVAC dan mengidentifikasi langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengurangi penggunaan energi tersebut (Ekayuliana dkk., 2023).

Beberapa langkah yang dapat diambil untuk mengoptimalkan sistem HVAC adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan efisiensi peralatan HVAC.
Menggunakan peralatan HVAC yang lebih efisien dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Pemilihan unit dengan rating efisiensi energi tinggi, seperti sistem HVAC yang dilengkapi dengan teknologi inverter atau pompa panas (*heat pumps*) dapat membantu mengurangi penggunaan daya listrik.
2. Pemeliharaan dan perawatan rutin.
Pemeliharaan sistem HVAC yang teratur, seperti pembersihan filter udara, pengecekan sistem *ducting*, serta pengecekan level *refrigeran* dapat memastikan sistem bekerja pada kinerja optimal. Hal ini dapat

mencegah kerusakan yang tidak terduga dan meningkatkan efisiensi energi.

3. Pengaturan suhu yang cerdas.

Penggunaan teknologi seperti termostat pintar yang dapat menyesuaikan suhu secara otomatis berdasarkan preferensi pengguna, waktu, dan kondisi lingkungan dapat mengurangi penggunaan energi berlebih. Hal ini juga memungkinkan untuk mengatur suhu secara lebih efisien dengan menghindari pemakaian berlebihan saat ruangan tidak digunakan.

4. Penerapan ventilasi alami.

Mengintegrasikan ventilasi alami ke dalam desain bangunan memungkinkan sirkulasi udara yang lebih baik tanpa harus mengandalkan kipas atau sistem pendingin udara. Dengan mengoptimalkan ventilasi alami, kebutuhan akan AC dapat dikurangi sehingga menghemat energi.

5. Isolasi termal yang baik.

Isolasi termal yang efektif dapat mencegah kehilangan panas atau pendinginan di dalam bangunan sehingga mengurangi beban kerja sistem HVAC. Memastikan dinding, atap, dan jendela memiliki isolasi yang memadai membantu mempertahankan suhu ruangan secara stabil.

6. Zonasi dan kontrol terpisah.

Penggunaan zonasi dalam sistem HVAC memungkinkan pengaturan suhu secara lebih efisien pada area yang berbeda dalam bangunan. Melalui pengontrolan terpisah untuk tiap zona, suhu dapat disesuaikan hanya di area yang diperlukan sehingga menghindari pemborosan energi.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini, sistem HVAC dapat bekerja dengan lebih efisien, mengurangi konsumsi energi, dan membantu mengurangi jejak karbon dari bangunan tersebut. Optimalisasi HVAC juga berkontribusi pada penghematan biaya operasional jangka panjang dan menciptakan lingkungan yang lebih nyaman bagi penghuninya.



Material Pendukung Efisiensi Energi

Efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau tidak hanya bergantung pada teknologi yang digunakan, tetapi juga pada pemilihan material yang tepat. Material yang dirancang untuk mengurangi konsumsi energi dapat meningkatkan kenyamanan termal, mengoptimalkan pencahayaan alami, serta mengurangi kebutuhan perawatan jangka panjang (Permatasari, 2024).

Oleh karena itu, pemahaman tentang material pendukung efisiensi energi menjadi aspek penting dalam perancangan bangunan berkelanjutan sebagaimana berikut.

1. Material isolasi termal

Salah satu tantangan utama dalam efisiensi energi adalah bagaimana mempertahankan suhu dalam ruangan agar tetap stabil dengan konsumsi energi seminimal mungkin. Material dengan kemampuan isolasi termal tinggi dapat mengurangi perpindahan panas sehingga mengurangi beban pemanasan saat suhu rendah dan pendinginan saat suhu tinggi.

Beberapa material yang umum digunakan sebagai insulasi termal adalah sebagai berikut.

- a. *Polyurethane foam (PU foam)*
Memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga menjadikannya pilihan efektif dalam mengurangi perpindahan panas.
- b. *Rockwool* dan *glasswool*
Serat mineral yang tidak hanya berfungsi sebagai insulasi termal, tetapi juga memiliki sifat peredam suara yang baik.
- c. *Aerogel*
Meskipun lebih mahal, *aerogel* memiliki daya isolasi yang sangat tinggi yang membuatnya ideal untuk aplikasi dengan kebutuhan insulasi maksimal.

Penggunaan material insulasi yang tepat dapat mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin dan pemanas sehingga menurunkan konsumsi energi secara keseluruhan.

2. Material reflektif

Selain insulasi, penggunaan material reflektif yang mampu memantulkan sinar matahari juga berperan penting dalam mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan. Strategi ini sangat efektif terutama di daerah beriklim panas, di mana peningkatan suhu dalam ruangan dapat meningkatkan beban kerja sistem pendingin dan menyebabkan konsumsi energi yang lebih tinggi.

Beberapa material reflektif yang dapat diterapkan adalah sebagai berikut.

a. Cat reflektif (*high solar reflectance coating*)

Cat dengan pigmen khusus yang dapat mengurangi penyerapan panas sehingga menurunkan suhu permukaan atap dan dinding secara signifikan.

b. Lapisan reflektif pada atap dan dinding

Penggunaan material seperti aluminium foil atau membran putih dapat membantu memantulkan sinar matahari dan mencegah pemanasan berlebih di dalam bangunan.

c. Atap hijau (*green roof*)

Menanam vegetasi di atap dapat berfungsi sebagai peredam panas alami sekaligus meningkatkan kualitas udara dan mengurangi efek pulau panas perkotaan.

Dengan penerapan material reflektif yang tepat, bangunan dapat mempertahankan suhu dalam ruangan yang lebih nyaman dan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin udara sehingga meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

3. Material kaca hemat energi

Kaca sering menjadi tantangan dalam efisiensi energi karena mudah menghantarkan panas. Saat cuaca panas, kaca memungkinkan panas dari luar masuk ke dalam ruangan. Sementara saat cuaca dingin, panas

dari dalam ruangan mudah keluar. Akibatnya, sistem pendingin dan pemanas bekerja lebih keras yang meningkatkan konsumsi energi.

Untuk mengatasi hal ini, teknologi kaca hemat energi telah dikembangkan untuk mengurangi perpindahan panas tanpa mengorbankan pencahayaan alami. Beberapa jenis kaca hemat energi yang umum digunakan adalah sebagai berikut.

a. Kaca Low-E (*low-emissivity glass*)

Jenis ini memiliki lapisan khusus yang mengurangi perpindahan panas. Hal ini memungkinkan cahaya masuk tanpa membuat ruangan terasa lebih panas.

b. Kaca *double-glazed*

Jenis ini terdiri dari dua lapisan kaca dengan ruang udara atau gas di antaranya yang berfungsi sebagai isolasi termal untuk menjaga suhu ruangan tetap stabil.

c. Kaca pintar (*smart glass*)

Dapat mengubah tingkat transparansinya secara otomatis sesuai intensitas cahaya matahari sehingga mengurangi silau dan membantu menjaga suhu dalam ruangan.

Dengan penggunaan kaca hemat energi, bangunan dapat memaksimalkan pencahayaan alami tanpa meningkatkan beban pendinginan sehingga menciptakan ruangan yang lebih nyaman dan hemat energi.

4. Material berbasis energi terbarukan

Selain membantu mengurangi konsumsi energi, beberapa material juga dirancang untuk menyimpan dan mengoptimalkan energi dari sumber terbarukan sehingga meningkatkan efisiensi serta kemandirian energi bangunan.

Beberapa material yang mendukung pemanfaatan energi terbarukan meliputi hal-hal sebagai berikut.

a. *Phase change material* (PCM)

Material ini dapat menyerap, menyimpan, dan melepaskan energi panas sesuai dengan perubahan suhu lingkungan. Dengan mekanisme ini, PCM membantu menyeimbangkan suhu dalam

ruangan secara alami sehingga mengurangi kebutuhan pendinginan atau pemanasan tambahan.

b. *Building integrated photovoltaics (BIPV)*

Teknologi ini menggabungkan panel surya langsung ke dalam elemen bangunan, seperti fasad atau atap. Dengan cara ini, bangunan dapat menghasilkan listrik sendiri tanpa perlu ruang tambahan untuk pemasangan panel surya konvensional.

c. *Solar thermal panels*

Material ini digunakan untuk memanaskan air tanpa listrik sehingga sangat efektif bagi bangunan dengan kebutuhan air panas tinggi, seperti hotel dan rumah sakit.

Melalui pemanfaatan material berbasis energi terbarukan, bangunan tidak hanya menjadi lebih hemat energi, tetapi juga lebih mandiri dalam memenuhi kebutuhan dayanya. Hal ini dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional (Mahendra dkk., 2024).

Dengan demikian, pemilihan material yang tepat berperan besar dalam menciptakan bangunan gedung hijau yang hemat energi. Material dengan kemampuan isolasi termal, reflektif, serta kaca hemat energi dapat mengurangi konsumsi listrik untuk pemanas dan pendingin ruangan. Sementara itu, penggunaan material berbasis energi terbarukan dapat membantu bangunan menghasilkan energi secara mandiri.

Dengan menggunakan kombinasi material yang efisien dan sistem manajemen energi yang terintegrasi, bangunan gedung hijau mampu memberikan kenyamanan terbaik bagi penghuninya. Selain itu, bangunan ini juga membantu mengurangi penggunaan energi dan emisi karbon. Upaya efisiensi energi ini bukan sekadar inovasi, melainkan langkah nyata untuk mendukung pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan.



Pengelolaan Air dan Limbah untuk Efisiensi Energi

Pengelolaan air dan limbah untuk efisiensi energi memiliki peran yang sangat penting dalam mencapai keberlanjutan lingkungan dan efisiensi operasional di berbagai sektor. Salah satu cara yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi energi adalah dengan menerapkan sistem daur ulang air dan pengelolaan limbah yang optimal (Rizki, 2022).

Kedua konsep ini tidak hanya memberikan manfaat dalam mengurangi konsumsi energi, tetapi juga membantu mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas manusia. Dalam konteks ini, penerapan teknologi dan pendekatan inovatif dalam pengelolaan air dan limbah dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan menghasilkan energi terbarukan.

Sistem daur ulang air merupakan suatu metode yang sangat efisien dalam mengurangi konsumsi air yang berasal dari sumber daya alam, seperti sungai, danau, atau sumur. Daur ulang air di sini mencakup proses pemurnian air yang telah digunakan untuk dipergunakan kembali dalam berbagai aktivitas. Pada umumnya, air daur ulang dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti irigasi, pengolahan industri, serta kebutuhan domestik yang tidak memerlukan kualitas air sangat tinggi.

Penerapan sistem daur ulang air tidak hanya menghemat konsumsi air, tetapi juga mengurangi beban pada fasilitas pengolahan air dan meminimalkan kebutuhan untuk pengolahan air baru yang biasanya memerlukan energi cukup besar. Dalam industri, daur ulang air dapat digunakan untuk pendinginan mesin, proses pencucian, dan penggunaan air dalam berbagai proses lainnya. Contohnya dalam industri manufaktur, sebagian besar konsumsi air digunakan untuk proses pendinginan dan pembersihan. Dengan menggunakan air daur ulang untuk keperluan tersebut, energi yang dibutuhkan untuk memompa dan mengolah air dapat dikurangi secara signifikan.

Selain itu, daur ulang air juga berperan dalam mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mengolah air limbah. Pengolahan air limbah biasanya melibatkan berbagai tahapan, seperti filtrasi, penyaringan, dan pemurnian kimiawi yang semuanya membutuhkan energi.

Dengan mengurangi jumlah air limbah yang dihasilkan maka proses-proses tersebut dapat dikurangi intensitasnya sehingga mengurangi penggunaan energi.

Implementasi sistem daur ulang air yang efisien juga dapat dilakukan dengan teknologi canggih, seperti sistem membran bioreaktor (MBR), teknologi filter press, atau proses menggunakan tanaman untuk menyaring air (fitoremediasi). Sistem MBR menggabungkan proses biologis dan filtrasi membran untuk menghasilkan air yang lebih bersih dan siap untuk digunakan kembali. Meskipun sistem ini memerlukan investasi awal yang cukup besar, manfaat jangka panjang dalam hal efisiensi energi dan penghematan air sangat besar.

Selain pengelolaan air, pengelolaan limbah juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi energi. Pengelolaan limbah yang baik dapat membantu mengurangi konsumsi energi dalam berbagai proses industri, serta mengubah limbah menjadi sumber energi terbarukan yang berguna. Salah satu metode utama dalam pengelolaan limbah untuk menghasilkan energi adalah dengan mengolah limbah organik menjadi biogas melalui proses fermentasi anaerobik. Proses ini mengubah bahan organik dalam limbah menjadi metana yang dapat digunakan sebagai sumber energi (Sisdianto, 2024).

Limbah organik yang sering dihasilkan oleh rumah tangga, industri makanan, dan sektor pertanian dapat diolah menjadi energi melalui teknologi pembangkit listrik berbasis biogas. Proses ini tidak hanya menghasilkan energi terbarukan, tetapi juga mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir. Ini memerlukan energi besar untuk pengelolaannya. Contohnya di beberapa negara, banyak fasilitas pengolahan limbah yang menggunakan biogas yang dihasilkan dari limbah organik untuk menghasilkan listrik, kemudian digunakan untuk mengoperasikan sistem pengolahan itu sendiri atau bahkan disalurkan ke jaringan listrik nasional.

Selain biogas, teknologi lain seperti pirolisis dan gasifikasi juga semakin banyak diterapkan dalam pengelolaan limbah padat untuk menghasilkan



energi. Pirolisis mengubah limbah menjadi bahan bakar cair atau gas dengan cara pemanasan pada suhu tinggi tanpa oksigen. Gasifikasi juga mengubah limbah padat menjadi gas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik atau panas. Teknologi-teknologi ini sangat berguna untuk mengolah berbagai jenis limbah, seperti plastik, kertas, dan bahan organik menjadi sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk operasional industri atau untuk disalurkan ke jaringan energi.

Untuk mencapai efisiensi energi yang optimal, penting untuk mengintegrasikan sistem daur ulang air dan pengelolaan limbah dalam desain infrastruktur yang berkelanjutan. Infrastruktur ini dirancang untuk meminimalkan penggunaan sumber daya alam, mengurangi konsumsi energi, dan memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan dari limbah. Sebagai contoh, beberapa fasilitas pengolahan air dan limbah modern menggunakan sistem yang menggabungkan berbagai teknologi untuk meningkatkan efisiensi.

Contohnya dalam desain bangunan atau kawasan industri, sistem pemrosesan air limbah dan daur ulang air dapat diterapkan secara bersamaan dengan fasilitas yang menghasilkan energi dari limbah organik. Bangunan yang ramah lingkungan dan hemat energi sering kali dilengkapi dengan panel surya, sistem ventilasi alami, dan sistem pengolahan limbah yang dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Pada skala yang lebih besar, kota-kota pintar (*smart cities*) kini mulai mengintegrasikan sistem daur ulang air dan pengelolaan limbah untuk mengurangi jejak karbon serta meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

Meskipun pengelolaan air dan limbah memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi, terdapat beberapa tantangan yang harus dihadapi dalam implementasinya. Salah satu tantangan utama adalah biaya investasi awal yang tinggi untuk penerapan teknologi canggih seperti sistem daur ulang air berbasis membran bioreaktor atau teknologi pengolahan limbah menjadi biogas. Bagi banyak perusahaan dan kota, biaya ini mungkin terlalu tinggi, terutama di negara berkembang di mana dana untuk infrastruktur berkelanjutan terbatas.

Masalah infrastruktur juga menjadi tantangan besar. Di banyak tempat, jaringan pengolahan air dan limbah yang ada masih sangat terbatas dan tidak memadai untuk menangani volume limbah atau air yang dihasilkan. Upaya untuk memperbarui atau membangun infrastruktur ini memerlukan investasi besar dan dukungan dari pemerintah dan sektor swasta.

Oleh karena itu, pengelolaan air dan limbah untuk efisiensi energi tidak hanya bermanfaat untuk penghematan sumber daya alam, tetapi juga memberikan potensi besar untuk mengurangi konsumsi energi dan menghasilkan energi terbarukan. Sistem daur ulang air dan pengelolaan limbah yang efisien dapat membantu mengoptimalkan penggunaan energi dalam berbagai sektor, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan keberlanjutan operasional. Dengan kemajuan teknologi dan dukungan kebijakan yang tepat, pengelolaan air dan limbah dapat memainkan peran kunci dalam menciptakan masyarakat yang lebih berkelanjutan serta hemat energi.

Penilaian Kinerja Energi Bangunan

Penilaian kinerja energi bangunan adalah langkah yang penting untuk mengetahui seberapa efisien sebuah bangunan dalam mengelola dan menggunakan energi. Proses ini tidak hanya melihat seberapa banyak energi yang digunakan, tetapi juga dampaknya terhadap biaya operasional dan lingkungan. Dengan melakukan penilaian kinerja energi, dapat diketahui seberapa baik suatu bangunan dalam memanfaatkan energi secara efisien dan apakah upaya untuk menghemat energi sudah maksimal (Priyanto dkk., 2024).

Dalam hal ini, terdapat tiga aspek utama yang perlu dipertimbangkan dalam penilaian kinerja energi bangunan.

1. Kinerja energi secara keseluruhan.
Kinerja energi secara keseluruhan menggambarkan seberapa efektif sebuah bangunan mengelola penggunaan energi di berbagai sistem. Sistem yang mengonsumsi energi dalam bangunan antara lain

pemanasan, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC), pencahayaan, serta peralatan elektronik lainnya. Kinerja energi yang baik tecermin dari penggunaan energi yang efisien pada setiap sistem dengan tujuan mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi kenyamanan atau fungsi bangunan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengukur kinerja energi secara keseluruhan ialah:

- a. penggunaan energi total;
- b. penggunaan energi berdasarkan waktu;
- c. manajemen energi yang efektif; serta
- d. dampak lingkungan.

2. Intensitas energi.

Intensitas energi mengukur seberapa banyak energi yang digunakan oleh sebuah bangunan dalam kaitannya dengan ukuran bangunan itu sendiri atau jumlah penghuninya. Dua cara umum untuk mengukur intensitas energi adalah sebagai berikut.

- a. Intensitas energi berdasarkan luas bangunan (kWh/m^2).
Pengukuran ini mengukur konsumsi energi per meter persegi luas bangunan. Dengan cara ini, dapat diketahui seberapa efisien bangunan tersebut dalam menggunakan energi untuk setiap unit luas. Semakin rendah intensitas energi maka semakin efisien bangunan dalam memanfaatkan energi.
- b. Intensitas energi berdasarkan jumlah penghuni (kWh/penghuni).
Untuk bangunan yang dihuni banyak orang, intensitas energi juga bisa diukur berdasarkan jumlah penghuni. Hal ini penting karena pola penggunaan energi bisa berbeda-beda tergantung berapa banyak orang yang ada di dalam bangunan. Pengelolaan energi yang disesuaikan dengan jumlah penghuni akan membantu meminimalkan pemborosan energi.

Selain itu, beberapa faktor yang memengaruhi intensitas energi adalah sebagai berikut.

a. Desain bangunan

Bangunan yang dirancang dengan baik, misalnya dengan orientasi matahari yang optimal, insulasi termal yang baik, dan material yang efisien akan lebih mudah mengelola konsumsi energi.

b. Sistem HVAC dan pencahayaan

Teknologi efisien seperti sistem HVAC yang pintar dan pencahayaan LED dapat membantu menurunkan intensitas energi. Sistem ini bisa mengatur suhu dan pencahayaan dengan otomatis sehingga lebih hemat energi.

c. Penggunaan energi terbarukan

Penggunaan energi terbarukan seperti panel surya atau turbin angin juga dapat menurunkan intensitas energi. Dengan menggunakan energi dari sumber yang ramah lingkungan, ketergantungan pada energi berbasis fosil dapat dikurangi.

3. Perbandingan dengan standar.

Untuk menilai apakah kinerja energi bangunan sudah efisien, perbandingan dengan standar yang telah ditetapkan sangat diperlukan. Standar ini memberikan panduan yang jelas dan dapat diukur mengenai seberapa baik sebuah bangunan dalam mengelola energi.

Perbandingan dengan standar juga sangat penting untuk memastikan bahwa bangunan sudah mencapai tingkat efisiensi energi yang optimal. Dengan menggunakan standar internasional maka dapat diketahui apakah bangunan tersebut sudah memenuhi kriteria yang baik dalam hal pengelolaan energi. Selain itu, sertifikasi dari standar-standar ini dapat meningkatkan nilai properti dan mengurangi biaya operasional, serta memastikan bahwa bangunan tersebut ramah lingkungan.





Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB VI

PENERAPAN PRINSIP BANGUNAN GEDUNG HIJAU

Langkah-Langkah Implementasi Efisiensi Energi di Bangunan Gedung Hijau

Penerapan efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau melibatkan serangkaian langkah yang dirancang untuk mengurangi konsumsi energi, mengoptimalkan sumber daya alam, serta menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan ramah lingkungan. Proses implementasinya harus dilakukan melalui beberapa tahapan sebagaimana berikut.

1. Tahap perencanaan

Perencanaan adalah tahap pertama yang sangat penting dalam memastikan bahwa efisiensi energi menjadi bagian integral dari desain bangunan gedung hijau. Beberapa langkah yang perlu dilakukan pada tahap ini sebagai berikut.

a. Penilaian kebutuhan energi.

Pada tahap perencanaan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan penilaian kebutuhan energi untuk bangunan tersebut. Hal ini termasuk mengevaluasi jenis energi yang diperlukan untuk penerangan, pendinginan, pemanasan, dan kebutuhan lainnya. Penilaian ini akan memberikan gambaran tentang berapa banyak energi yang harus disediakan dan bagaimana cara mengoptimalkan penggunaan energi tersebut.

b. Pemilihan lokasi dan desain bangunan.

Lokasi bangunan memainkan peran penting dalam efisiensi energi. Pemilihan lokasi yang mengoptimalkan pencahayaan alami dan ventilasi silang dapat mengurangi kebutuhan akan energi untuk penerangan dan pendinginan.

Bangunan yang dibangun di daerah tropis seperti Indonesia dapat memanfaatkan ventilasi alami dan pencahayaan matahari secara maksimal. Desain bangunan yang mengarah pada prinsip *passive solar design*, di mana bangunan memanfaatkan posisi matahari dan arah angin untuk mengoptimalkan pencahayaan dan pengudaraan alami dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi.

c. Penggunaan material bangunan yang ramah lingkungan.

Pada tahap perencanaan, pemilihan material bangunan yang ramah lingkungan dan efisien energi harus diperhatikan. Misalnya, penggunaan isolasi termal yang baik dapat mengurangi kebutuhan pemanasan dan pendinginan, sementara material seperti bambu dan beton ramah lingkungan membantu mengurangi dampak lingkungan dari proses konstruksi.

Selain itu, material yang memiliki daya serap panas rendah akan membantu menjaga suhu di dalam bangunan tetap nyaman tanpa bergantung pada pendingin udara atau pemanas.

d. Perencanaan sistem energi terbarukan.

Integrasi teknologi energi terbarukan, seperti panel surya atau sistem pemanas air tenaga surya (*solar water heater*) harus dimasukkan dalam rencana desain bangunan. Pada tahap perencanaan, pemilihan sistem energi terbarukan yang sesuai dengan lokasi dan kebutuhan energi bangunan harus dilakukan untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan dapat digunakan secara optimal dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

2. Tahap konstruksi

Pada tahap konstruksi, prinsip efisiensi energi yang telah direncanakan harus diimplementasikan dengan cermat. Beberapa langkah utama yang perlu dilakukan pada tahap konstruksi adalah sebagai berikut.

a. Pemasangan sistem energi terbarukan.

Setelah desain dan pemilihan material selesai, langkah berikutnya adalah pemasangan sistem energi terbarukan seperti panel surya, pembangkit listrik tenaga angin, atau sistem pembangkit mikrohidro. Pemasangan yang benar dan tepat waktu penting untuk memastikan bahwa bangunan dapat mulai menggunakan energi terbarukan sejak tahap awal operasional.

b. Pengoptimalan sistem ventilasi dan pencahayaan alami.

Untuk mendukung efisiensi energi, sistem ventilasi alami harus dioptimalkan selama konstruksi. Pengaturan jendela, lubang ventilasi, dan ventilasi silang harus dipasang dengan benar untuk memastikan sirkulasi udara yang baik tanpa bergantung pada pendingin udara. Sistem pencahayaan alami yang mengarah pada penggunaan *daylighting* (penggunaan cahaya matahari untuk penerangan ruang) harus dimaksimalkan dengan pemilihan kaca yang efisien dan desain jendela yang strategis.

c. Isolasi termal dan pengelolaan air.

Pemasangan sistem isolasi termal yang baik akan mengurangi kebutuhan energi untuk pemanasan dan pendinginan. Isolasi pada dinding, atap, dan lantai perlu diterapkan dengan menggunakan



bahan yang memiliki konduktivitas termal rendah. Selain itu, sistem pengelolaan air hujan dan limbah harus dibangun dengan mempertimbangkan penghematan air, seperti penggunaan sistem penampungan air hujan yang dapat digunakan untuk kebutuhan sanitasi atau irigasi.

d. Pengelolaan limbah konstruksi.

Sebagian besar bahan bangunan dapat didaur ulang atau diproses kembali. Hal ini penting untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah konstruksi. Penggunaan material daur ulang dan pemilahan limbah selama proses konstruksi adalah langkah penting dalam menjaga keberlanjutan dari bangunan tersebut.

3. Tahap operasional

Setelah bangunan selesai dibangun, tahap operasional adalah fase di mana implementasi efisiensi energi dapat terlihat secara nyata. Beberapa langkah yang dapat dilakukan pada tahap ini untuk memastikan efisiensi energi yang berkelanjutan adalah sebagai berikut.

a. Pemantauan dan pengelolaan energi.

Sistem pemantauan energi yang baik harus dipasang untuk memastikan bahwa penggunaan energi dapat dipantau secara terus-menerus. Penggunaan *smart meters* dan sistem manajemen energi memungkinkan pengelolaan konsumsi energi secara efisien. Pemilik bangunan dapat menggunakan data ini untuk mengidentifikasi area-area di mana konsumsi energi bisa diturunkan dan melakukan perbaikan secara berkala.

b. Pemeliharaan sistem energi terbarukan.

Sistem energi terbarukan seperti panel surya harus dipelihara dengan baik untuk memastikan bahwa mereka berfungsi dengan optimal sepanjang tahun. Pemeliharaan rutin seperti pembersihan panel surya dan pemeriksaan sistem pemanas air tenaga surya diperlukan untuk memastikan efisiensi dan umur panjang dari teknologi tersebut.

c. Pengelolaan limbah dan penghematan air.

Pengelolaan limbah dan air harus tetap menjadi perhatian utama pada tahap operasional. Sistem pengelolaan limbah yang efisien, seperti pemisahan limbah organik dan anorganik serta penggunaan sistem pengolahan limbah yang ramah lingkungan harus diterapkan. Selain itu, penghematan air dapat diperoleh dengan menggunakan alat-alat sanitasi efisien seperti keran otomatis dan WC hemat air.

d. Pendidikan dan kesadaran penghuni.

Edukasi kepada penghuni bangunan tentang pentingnya efisiensi energi dan penggunaan sumber daya yang bertanggung jawab sangat penting. Penghuni harus diberi pelatihan dan panduan tentang cara menggunakan peralatan secara efisien, serta bagaimana cara berkontribusi dalam menjaga keberlanjutan bangunan tersebut.

Misalnya, penggunaan sistem pencahayaan otomatis atau pemanfaatan energi terbarukan yang terintegrasi dengan kebiasaan sehari-hari dapat membantu dalam meminimalkan konsumsi energi (Retno dkk., 2024).

Secara keseluruhan, implementasi efisiensi energi di bangunan gedung hijau merupakan suatu proses yang melibatkan berbagai tahapan, mulai dari perencanaan, konstruksi, hingga operasional. Dalam setiap tahap, perhatian terhadap pemilihan material, desain, teknologi, serta pengelolaan energi dan sumber daya alam sangatlah penting.

Dengan penerapan langkah-langkah tersebut, bangunan gedung hijau tidak hanya memberikan manfaat lingkungan yang besar, tetapi juga manfaat ekonomi yang signifikan, serta menciptakan ruang yang lebih sehat dan nyaman bagi penghuninya. Keberhasilan dalam implementasi efisiensi energi akan menentukan sejauh mana tujuan pembangunan berkelanjutan dapat tercapai, baik pada tingkat individu, komunitas, maupun negara.



Evaluasi Efisiensi Energi Pascakonstruksi

Evaluasi efisiensi energi pascakonstruksi merupakan tahapan yang penting dalam memastikan bahwa langkah-langkah efisiensi energi yang telah diterapkan selama perencanaan dan konstruksi bangunan berjalan dengan efektif serta optimal dalam jangka panjang. Evaluasi ini tidak hanya bertujuan untuk menilai apakah bangunan beroperasi sesuai dengan desain efisiensi energi yang telah ditetapkan, tetapi juga untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi lebih lanjut dan memastikan keberlanjutan operasional dalam hal pengelolaan sumber daya.

Secara umum, evaluasi efisiensi energi pascakonstruksi melibatkan pengukuran penggunaan energi, pemantauan kinerja sistem energi terbarukan, serta pemeriksaan praktik pengelolaan sumber daya di dalam bangunan. Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam evaluasi efisiensi energi pascakonstruksi, di antaranya sebagai berikut.

1. Pemantauan dan pengelolaan penggunaan energi.

Pemantauan penggunaan energi merupakan langkah awal yang sangat penting dalam evaluasi efisiensi energi pada bangunan. Pada tahap pascakonstruksi, energi yang digunakan oleh bangunan harus terus dipantau untuk memastikan bahwa konsumsi energi sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan selama desain. Pemantauan ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi *smart meters* atau sistem manajemen energi berbasis sensor untuk mengukur konsumsi energi di berbagai bagian bangunan, seperti sistem HVAC, pencahayaan, dan peralatan listrik lainnya.

Pengelolaan penggunaan energi pascakonstruksi juga melibatkan pengaturan suhu, pencahayaan, dan penggunaan peralatan listrik dengan cara yang hemat energi. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan sistem manajemen energi yang otomatis. Hal ini dapat menyesuaikan pencahayaan dan suhu secara *real-time*, serta mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memberikan data yang berguna untuk analisis lebih lanjut,

seperti tren konsumsi energi berdasarkan waktu atau musim yang dapat digunakan untuk perencanaan energi lebih baik.

Dengan adanya pemantauan berkelanjutan, pihak pengelola bangunan bisa mengambil keputusan lebih tepat mengenai pembaruan atau perbaikan perangkat yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat konsumsi energi tidak melebihi batas yang sudah ditetapkan dalam desain awal.

2. Evaluasi kinerja sistem energi terbarukan.

Sebagian besar bangunan yang mengadopsi prinsip bangunan gedung hijau atau ramah lingkungan menggunakan sistem energi terbarukan, seperti panel surya, turbin angin kecil, atau pemanas air tenaga surya. Evaluasi kinerja sistem energi terbarukan sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi yang digunakan berfungsi secara optimal dalam mendukung efisiensi energi. Misalnya, panel surya harus dapat menghasilkan jumlah energi yang diharapkan berdasarkan kapasitas yang dipasang, serta dapat mempertahankan efisiensinya dalam jangka panjang.

Evaluasi ini meliputi pengujian terhadap sistem energi terbarukan dalam berbagai kondisi, seperti pengaruh cuaca yang berubah-ubah, serta kebutuhan perawatan yang diperlukan untuk menjaga kinerjanya tetap maksimal. Misalnya, panel surya harus diperiksa untuk memastikan bahwa tidak ada kotoran atau kerusakan yang menghalangi sinar matahari, dan sistem pemanas air tenaga surya harus diuji untuk memastikan efisiensi pemanasannya.

Selain itu, kapasitas dan performa sistem energi terbarukan yang dipasang juga harus terus dipantau untuk memastikan dapat memenuhi kebutuhan energi yang telah diperkirakan sebelumnya, serta mengurangi ketergantungan pada energi konvensional. Jika ditemukan bahwa kinerja sistem energi terbarukan tidak optimal atau tidak sesuai dengan proyeksi, tindakan korektif dapat diambil, baik dalam bentuk perbaikan, pembaruan teknologi, atau peningkatan kapasitas sistem.

3. Pengelolaan dan penghematan sumber daya alam.

Selain penggunaan energi, pengelolaan sumber daya alam lainnya seperti air juga merupakan faktor penting dalam evaluasi efisiensi energi pascakonstruksi. Bangunan ramah lingkungan umumnya mengintegrasikan sistem pengelolaan air hujan, serta penggunaan perangkat hemat air seperti toilet dengan sistem penghematan air dan keran otomatis.

Evaluasi terhadap sistem pengelolaan air hujan sangat penting untuk memastikan bahwa air hujan yang dikumpulkan dapat digunakan secara efisien, baik untuk keperluan sanitasi, irigasi, atau penggunaan lainnya. Evaluasi ini juga melibatkan pemeriksaan apakah kapasitas sistem pengelolaan air hujan sudah cukup untuk mencakup kebutuhan air bangunan, serta memastikan bahwa penghuni bangunan memanfaatkan air yang terkumpul dengan cara yang optimal. Jika ditemukan adanya pemborosan atau kurangnya pemanfaatan air hujan yang efisien, perlu dilakukan perbaikan atau peningkatan kapasitas sistem.

Pengelolaan sumber daya alam juga mencakup penggunaan bahan bangunan yang ramah lingkungan dan hemat energi. Hal ini dapat dikontrol melalui evaluasi terhadap pemilihan material selama perencanaan dan konstruksi. Evaluasi terhadap penggunaan bahan bangunan yang berkelanjutan akan memastikan bahwa bangunan dapat terus beroperasi dengan efisiensi tinggi tanpa menambah beban terhadap lingkungan.

4. Evaluasi sistem ventilasi dan pencahayaan.

Sistem ventilasi dan pencahayaan alami adalah dua faktor yang sangat memengaruhi efisiensi energi di dalam bangunan. Sistem ventilasi yang baik akan membantu menjaga kualitas udara di dalam ruangan dan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin udara (AC) yang dapat menghabiskan banyak energi.

Evaluasi sistem ventilasi mencakup pemeriksaan apakah sistem ventilasi silang atau ventilasi alami sudah berfungsi sesuai dengan

perencanaan, serta apakah ventilasi tersebut dapat menjaga suhu di dalam ruangan tetap nyaman tanpa membutuhkan pendinginan mekanis yang berlebihan. Pencahayaan alami juga harus dievaluasi untuk memastikan bahwa bangunan dapat memanfaatkan cahaya matahari secara maksimal pada siang hari sehingga mengurangi kebutuhan untuk pencahayaan buatan yang dapat menghabiskan energi listrik.

Sistem pencahayaan yang efisien, seperti penggunaan lampu LED dan sensor pencahayaan otomatis juga harus diperiksa untuk memastikan bahwa mereka berfungsi secara optimal dan hemat energi. Dengan memastikan bahwa sistem ventilasi dan pencahayaan berfungsi secara efisien, konsumsi energi dapat dikurangi secara signifikan sekaligus meningkatkan kenyamanan penghuni.

5. Pemeliharaan dan perbaikan sistem energi.

Pemeliharaan yang rutin terhadap sistem energi di bangunan sangat penting untuk memastikan bahwa sistem-sistem ini tetap berjalan dengan efisien sepanjang umur bangunan. Sistem energi yang melibatkan teknologi terbaru atau perangkat hemat energi memerlukan pemeliharaan agar performa tidak menurun seiring waktu.

Pemeliharaan sistem energi meliputi pemeriksaan terhadap komponen-komponen utama, seperti pemanas air tenaga surya, panel surya, dan sistem HVAC. Pemeliharaan ini juga harus mencakup penggantian komponen yang telah usang atau tidak efisien, serta pembaruan teknologi untuk meningkatkan efisiensi.

Selain itu, evaluasi terhadap keberhasilan pemeliharaan sistem energi juga akan mencakup analisis apakah pemeliharaan yang dilakukan sudah cukup untuk mempertahankan kinerja optimal, ataukah ada kebutuhan untuk perubahan dalam prosedur pemeliharaan yang lebih baik. Dalam jangka panjang, pemeliharaan yang tepat akan meningkatkan keberlanjutan operasional bangunan serta mengurangi biaya energi yang dikeluarkan.



6. Penedukasian dan kesadaran penghuni.

Penting untuk diingat bahwa keberhasilan dalam mencapai efisiensi energi di bangunan gedung hijau tidak hanya bergantung pada teknologi yang diterapkan, tetapi juga pada perilaku penghuni. Oleh karena itu, penedukasian dan peningkatan kesadaran penghuni tentang pentingnya efisiensi energi merupakan faktor kunci dalam evaluasi pascakonstruksi.

Pendidikan tentang cara-cara penghematan energi, seperti mematikan perangkat elektronik yang tidak digunakan, menggunakan perangkat hemat energi, serta mengoptimalkan penggunaan sistem energi terbarukan akan sangat membantu dalam mengurangi konsumsi energi. Pelatihan atau kampanye edukasi untuk penghuni tentang pentingnya menjaga efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan dapat dilakukan melalui seminar, brosur, atau program pelatihan internal.

Penghuni yang teredukasi dengan baik cenderung lebih peduli terhadap pemakaian energi mereka dan dapat lebih aktif dalam menerapkan kebiasaan yang ramah lingkungan di kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, meningkatkan kesadaran penghuni akan memengaruhi pengurangan konsumsi energi secara signifikan.

7. Pengelolaan limbah dan daur ulang.

Pengelolaan limbah merupakan salah satu aspek penting dalam operasional bangunan yang berkelanjutan. Evaluasi terhadap pengelolaan limbah konstruksi yang diterapkan sejak awal pembangunan perlu terus dilakukan selama penggunaan bangunan. Limbah yang dihasilkan selama proses konstruksi seperti bahan bangunan yang terbuang atau sisa-sisa material seharusnya didaur ulang atau diproses dengan cara yang ramah lingkungan.

Selain itu, pengelolaan limbah rumah tangga dan limbah organik juga harus diperhatikan. Limbah ini harus dipisahkan dengan benar dan didaur ulang atau dibuang sesuai dengan prinsip keberlanjutan. Evaluasi terhadap sistem pengelolaan limbah yang diterapkan di bangunan akan memastikan bahwa limbah dapat diproses dengan efisien tanpa menambah beban pada lingkungan.

Dengan adanya evaluasi terhadap pengelolaan limbah dan daur ulang yang berkelanjutan, bangunan tidak hanya mengurangi jejak karbonnya, tetapi juga memberikan kontribusi pada pengelolaan sumber daya alam secara lebih efisien.

Bangunan Hemat Energi di Indonesia

Bangunan gedung hijau atau *green building* merupakan sebuah konsep bangunan yang dirancang untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan dan mengoptimalkan efisiensi penggunaan sumber daya alam. Konsep ini tidak hanya menitikberatkan pada efisiensi energi, tetapi juga mencakup pengelolaan air, penggunaan material ramah lingkungan, serta penciptaan ruang yang sehat dan nyaman bagi penghuninya. Penerapannya berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi jejak karbon serta meningkatkan kualitas hidup melalui lingkungan yang lebih hijau, sehat, dan efisien.

Di Indonesia, konsep bangunan gedung hijau semakin berkembang di berbagai sektor, termasuk perkantoran, institusi pendidikan, dan hunian. Implementasi konsep ini didukung oleh adopsi teknologi serta desain yang mengutamakan efisiensi energi dan keberlanjutan. Salah satu aspek penting dalam penerapan bangunan gedung hijau adalah efisiensi energi. Hal ini bertujuan untuk menekan konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan dan fungsionalitas bangunan.

Sejumlah gedung di Indonesia telah menerapkan prinsip hemat energi dengan mengadopsi teknologi canggih, desain pasif, serta pemanfaatan sumber energi terbarukan. Implementasi ini mencerminkan komitmen terhadap efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan dalam pembangunan infrastruktur modern sebagaimana berikut.



1. Gedung perkantoran yang menerapkan efisiensi energi.
 - a. The Energy Tower Jakarta



Gambar 6.1 The Energy Tower Jakarta

Sumber: Skyscrapercenter.com

The Energy Tower adalah gedung perkantoran Grade A di kawasan SCBD Jakarta yang mengadopsi prinsip desain pasif dan efisiensi energi. Desainnya bertujuan meminimalkan penggunaan energi tanpa mengorbankan kenyamanan (Riyanto dan Purnomo, 2019).

Sejumlah aspek teknis yang diterapkan dalam The Energy Tower meliputi hal-hal sebagai berikut.

- 1) Sistem HVAC efisien
Menggunakan sistem pendinginan zonasi dan pemantauan kualitas udara untuk kenyamanan dan efisiensi.
- 2) Penggunaan pencahayaan hemat energi
Penerapan sensor otomatis dan lampu LED untuk menurunkan konsumsi listrik hingga 25%.
- 3) Pengelolaan air dan limbah
Implementasi sistem daur ulang air untuk kebutuhan *non-potable* serta teknologi *rainwater harvesting* yang memungkinkan pemanfaatan air hujan guna mengurangi konsumsi air bersih.

4) Pemanfaatan energi terbarukan

Fasilitas EV *charging station* disediakan sebagai bagian dari dukungan terhadap penggunaan kendaraan listrik dan pengurangan emisi karbon.

Sedangkan, konstruksi dan material dalam The Energy Tower, yaitu:

- 1) menggunakan kaca low-e untuk mengurangi perpindahan panas dan meningkatkan pencahayaan alami; serta
- 2) desain fasad mendukung pencahayaan alami maksimal (Riyanto dan Purnomo, 2019).

b. Menara BCA Jakarta



Gambar 6.2 Menara BCA

Sumber: kfmap.asia

Menara BCA yang terletak di Grand Indonesia, Jakarta mengedepankan efisiensi energi dan prinsip keberlanjutan. Gedung ini memperoleh Sertifikasi GreenShip Existing Building (EB) Platinum dari Green Building Council Indonesia (GBCI). Salah satu pencapaian utamanya adalah dalam kategori efisiensi dan konservasi energi (EEC) dengan skor 97,22% yang mencerminkan efisiensi penggunaan energi secara keseluruhan.

Menara BCA menggunakan material ramah lingkungan seperti kaca Low-E dan sistem pencahayaan berbasis LED. Selain itu, penggunaan sistem ventilasi alami dan pengelolaan material yang ramah lingkungan mendukung keberlanjutan dan pengurangan jejak karbon (Hidayatulloh, 2021).

Beberapa teknologi utama yang diterapkan di gedung ini adalah sebagai berikut.

- 1) Sistem HVAC yang efisien
Zonasi pendinginan untuk menyesuaikan konsumsi energi dengan tingkat hunian ruangan.
 - 2) Pengelolaan air
Sistem daur ulang air limbah untuk keperluan non-*potable* dan pemanfaatan air hujan.
 - 3) Material ramah lingkungan
Penggunaan material daur ulang dan bahan baku bersertifikasi yang mendukung prinsip bangunan gedung hijau.
2. Bangunan publik dan pendidikan.
- a. Gedung New Media Tower (Tangerang)



Gambar 6.3 Gedung New Media Tower

Sumber: umn.ac.id

New Media Tower yang berlokasi di kampus Universitas Multimedia Nusantara (UMN) dirancang dengan mengintegrasikan prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan dalam setiap aspek desain dan operasionalnya. Gedung ini memanfaatkan ventilasi silang alami serta dinding dengan insulasi termal. Hal ini bertujuan mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin buatan sehingga menciptakan lingkungan yang lebih nyaman sekaligus hemat energi.

Pada bagian fasad, penggunaan material yang mendukung pencahayaan alami membantu meminimalkan kebutuhan akan penerangan buatan di siang hari. Selain itu, efisiensi energi semakin ditingkatkan melalui penggunaan lampu LED hemat energi dan sensor otomatis yang mengoptimalkan konsumsi listrik berdasarkan kebutuhan aktual. Dengan berbagai inovasi ini, New Media Tower menjadi contoh nyata penerapan desain ramah lingkungan dalam bangunan pendidikan di Indonesia.

Beberapa fitur teknis yang diterapkan adalah sebagai berikut.

- 1) Ventilasi silang alami
Mengoptimalkan sirkulasi udara untuk mengurangi penggunaan pendingin buatan.
- 2) Pencahayaan hemat energi
Menggunakan lampu LED dan sensor otomatis yang mengatur pencahayaan berdasarkan cahaya alami.
- 3) Pengelolaan air
Rainwater harvesting untuk kebutuhan non-potable dan sistem sanitasi hemat air (Putro dan Prayogi, 2021).

b. Green School Bali (Bali)



Gambar 6.4 Green School Bali

Sumber: levistrauss.com

Green School Bali yang terletak di Desa Sibang Kaja Badung, Bali sekitar 30 km dari Denpasar adalah contoh luar biasa dari bangunan hemat energi yang menerapkan konsep keberlanjutan. Dengan menggunakan bambu sebagai material utama dan mengandalkan energi terbarukan seperti panel surya dan mikro-hidro, sekolah ini mengurangi ketergantungan pada energi fosil.

Penggunaan bambu dalam konstruksi bangunan mendukung prinsip keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses pengangkutan material bangunan. Selain itu, sistem pengelolaan air hujan membantu mengurangi ketergantungan pada sumber air eksternal (Sianipar dan Primanizar, 2024).

Terdapat beberapa pendekatan yang diterapkan di sekolah ini.

- 1) Panel surya dan mikrohidro
Sumber utama energi listrik yang ramah lingkungan.
- 2) Sistem pengelolaan air
Pemanfaatan air hujan dan pengelolaan limbah yang efisien.

3) Bio bus

Kendaraan yang menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan bakar sehingga mendukung ekonomi sirkular.

Melalui penerapan teknologi dan desain bangunan yang berfokus pada efisiensi energi, keberlanjutan, dan pengelolaan sumber daya alam yang efisien, berbagai gedung di Indonesia telah menunjukkan bahwa konsep bangunan gedung hijau dapat diterapkan secara efektif. Bangunan seperti The Energy Tower, Menara BCA, New Media Tower, dan Green School Bali tidak hanya mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan, tetapi juga memberikan contoh bagaimana prinsip keberlanjutan dapat diintegrasikan dalam berbagai sektor, baik komersial maupun pendidikan.

Analisis Biaya dan Manfaat

Penerapan konsep bangunan gedung hijau di Indonesia semakin berkembang di berbagai sektor, seperti pendidikan, komersial, dan perumahan. Bangunan gedung hijau dirancang untuk menggunakan sumber daya alam secara efisien, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta menciptakan ruang yang lebih sehat dan nyaman bagi penghuninya. Meskipun biaya awal untuk penerapan bangunan gedung hijau lebih tinggi dibandingkan dengan bangunan konvensional, namun manfaat jangka panjang yang diperoleh sering kali lebih besar, baik dalam aspek finansial, sosial, maupun lingkungan.

Seperti halnya menganalisis biaya dan manfaat penerapan bangunan gedung hijau di Indonesia, dengan menyoroti contoh nyata seperti Green School Bali dan New Media Tower di Tangerang. Analisis yang dimaksud akan memberikan gambaran mengenai manfaat yang diperoleh dari penerapan bangunan gedung hijau, jika dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan sebagaimana berikut.

1. Biaya penerapan bangunan gedung hijau.

Penerapan konsep bangunan gedung hijau memang membutuhkan biaya tambahan pada tahap awal pembangunan. Biaya-biaya tersebut dapat dikategorikan ke dalam beberapa aspek berikut ini.

a. Biaya desain dan konsultasi

1) Desain arsitektur dan teknik khusus

Salah satu biaya terbesar adalah biaya desain yang melibatkan teknologi ramah lingkungan serta penerapan prinsip keberlanjutan. Bangunan gedung hijau memerlukan arsitek dan insinyur yang memiliki keahlian dalam merancang sistem efisiensi energi, pemilihan material ramah lingkungan, serta pengelolaan air dan limbah yang efisien.

Misalnya di Green School Bali, penggunaan bambu memerlukan pemilihan dan pemasangan yang lebih hati-hati dibandingkan material konvensional seperti beton dan baja. Selain itu, konsultasi untuk mendapatkan sertifikasi *green building* juga menambah biaya.

2) Konsultasi dan sertifikasi

Untuk memperoleh sertifikasi bangunan gedung hijau seperti Green Building Council Indonesia (GBCI) atau LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), pemilik bangunan harus mengeluarkan biaya untuk proses konsultasi, verifikasi, dan audit. Hal ini bertujuan memastikan bahwa bangunan memenuhi standar keberlanjutan yang ditetapkan.

b. Biaya konstruksi dan material

1) Material ramah lingkungan

Penggunaan material seperti bambu, panel surya, kaca berkualitas tinggi, serta sistem ventilasi alami dapat meningkatkan biaya konstruksi. Material ramah lingkungan sering kali lebih mahal dan memerlukan proses pemilihan yang lebih teliti. Di Green School Bali, penggunaan bambu untuk hampir semua struktur bangunan termasuk papan basket menambah biaya konstruksi dibandingkan dengan menggunakan material konvensional.

- 2) Teknologi energi terbarukan
Pemasangan teknologi energi terbarukan, seperti panel surya dan mikrohidro memerlukan biaya yang cukup besar pada tahap awal. Meskipun demikian, teknologi ini dapat mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang karena mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.
- c. Biaya operasional dan pemeliharaan
 - 1) Pemeliharaan sistem hijau
Bangunan gedung hijau memerlukan pemeliharaan khusus untuk sistem energi terbarukan dan pengelolaan air. Pemeliharaan panel surya dan sistem pengelolaan air hujan memerlukan tenaga ahli untuk memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kerusakan. Biaya pemeliharaan yang lebih tinggi adalah konsekuensi dari penggunaan teknologi dan material yang lebih kompleks.
 - 2) Sistem daur ulang dan pengolahan limbah
Sistem pengelolaan limbah di bangunan gedung hijau juga membutuhkan biaya operasional tambahan, meskipun dapat menghasilkan manfaat lingkungan yang besar.
2. Manfaat penerapan bangunan gedung hijau.
Penerapan bangunan gedung hijau memang memerlukan biaya awal yang lebih tinggi, namun manfaat jangka panjang yang diperoleh jauh lebih besar. Manfaat tersebut dapat dibagi dalam beberapa aspek sebagaimana berikut.
 - a. Manfaat finansial
 - 1) Penghematan energi dan biaya operasional.
Salah satu manfaat terbesar dari bangunan gedung hijau adalah penghematan energi. Penggunaan panel surya dan mikrohidro mengurangi ketergantungan pada listrik dari jaringan umum. Hal ini berarti penghematan biaya listrik yang signifikan dalam jangka panjang. Contohnya, New Media Tower menggunakan panel surya untuk memenuhi

sebagian kebutuhan energinya sehingga mengurangi biaya operasional.

Bangunan gedung hijau juga mengoptimalkan penggunaan energi melalui desain yang mengutamakan ventilasi alami dan pencahayaan alami sehingga mengurangi kebutuhan akan penerangan dan pendingin ruangan.

2) Peningkatan nilai properti

Properti yang memiliki sertifikasi *green building* seperti Green School Bali dan New Media Tower sering kali memiliki nilai pasar yang lebih tinggi dibandingkan bangunan konvensional. Sertifikasi ini memberikan kesan bahwa bangunan tersebut ramah lingkungan dan berkelanjutan sehingga menjadi daya tarik bagi penyewa dan investor yang mengutamakan keberlanjutan. Hal ini dapat meningkatkan nilai properti dan potensi pendapatan sewa jangka panjang.

3) Manfaat pajak dan insentif pemerintah

Beberapa pemerintah daerah atau pusat memberikan insentif pajak atau subsidi kepada bangunan yang menerapkan konsep ramah lingkungan sebagai bagian dari upaya mendukung pembangunan berkelanjutan. Pengurangan pajak atau penghapusan biaya sertifikasi bangunan hijau dapat membantu mengurangi pengeluaran pemilik bangunan.

b. Manfaat lingkungan

1) Pengurangan jejak karbon dan dampak lingkungan.

Salah satu manfaat utama bangunan gedung hijau adalah kemampuannya untuk mengurangi emisi karbon. Penggunaan panel surya dan mikrohidro di Green School Bali dan New Media Tower mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang berkontribusi pada pengurangan pemanasan global.

Selain itu, penggunaan material ramah lingkungan seperti bambu juga membantu mengurangi dampak negatif

terhadap lingkungan, seperti polusi dan kerusakan habitat alam akibat proses pembuatan material bangunan konvensional.

2) Pengelolaan sumber daya alam yang efisien.

Penerapan sistem pengelolaan air hujan yang efisien di bangunan gedung hijau membantu mengurangi ketergantungan pada sumber air tanah atau air bersih dari jaringan umum. Di Green School Bali, sistem pengelolaan air hujan dan pemanfaatan air limbah untuk irigasi tanaman sangat membantu menghemat sumber daya alam yang terbatas.

c. Manfaat sosial

1) Penciptaan lingkungan yang sehat dan nyaman.

Bangunan gedung hijau didesain untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi penghuninya. Sistem ventilasi alami, penggunaan material nontoksik, dan pencahayaan alami berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dan kenyamanan penghuni. Green School Bali dengan desain terbuka dan penggunaan bambu menciptakan lingkungan belajar yang lebih sehat dan nyaman bagi para siswa.

2) Pendidikan dan kesadaran lingkungan.

Salah satu manfaat sosial dari bangunan gedung hijau adalah dampaknya terhadap kesadaran lingkungan. Di Green School Bali, siswa diajarkan tidak hanya mengenai pelajaran akademis, tetapi juga diberikan pengalaman langsung dalam menjaga dan mengelola alam. Pembelajaran berbasis pengalaman seperti ini membantu membentuk generasi yang lebih peduli terhadap lingkungan dan keberlanjutan.

Dalam penerapan bangunan gedung hijau, penggunaan sistem efisiensi energi yang berbasis keputusan berdasarkan nilai (*value based decision*) semakin penting. Hal ini memungkinkan para perancang dan pengelola bangunan untuk membuat keputusan yang tidak hanya mengutamakan



biaya jangka pendek, tetapi juga memperhitungkan dampak sosial dan lingkungan yang dihasilkan dalam jangka panjang.

Contohnya, adalah penerapan sistem manajemen energi cerdas yang memprioritaskan efisiensi penggunaan energi dengan cara yang berkelanjutan, seperti beberapa gedung di Jakarta yang menggunakan sistem otomatisasi untuk mengontrol konsumsi energi secara lebih efektif. Meskipun memerlukan biaya awal yang lebih tinggi, pendekatan ini memberikan manfaat jangka panjang yang jauh lebih besar, seperti penghematan energi, menjaga kelestarian lingkungan, dan meningkatkan kenyamanan hidup para penghuni.

Penghematan energi, pengurangan jejak karbon, peningkatan nilai properti, serta manfaat kesehatan bagi penghuninya merupakan keuntungan signifikan dari penerapan bangunan gedung hijau. Selain itu, kontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan dan pendidikan kesadaran lingkungan pada generasi mendatang juga merupakan aspek penting yang tidak dapat diukur hanya dengan angka.

Dengan demikian, seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang pentingnya keberlanjutan serta adanya insentif dari pemerintah, diharapkan konsep bangunan gedung hijau akan semakin berkembang dan diterima luas. Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat diperlukan untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang lebih luas di Indonesia. Hal ini dapat dilakukan melalui penerapan konsep *green building* yang lebih efisien, terjangkau, dan ramah lingkungan.



BAB VII

TANTANGAN DAN SOLUSI IMPLEMENTASI EFISIENSI ENERGI

Tantangan dalam Implementasi Efisiensi Energi pada Bangunan Gedung Hijau

Efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau berperan penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Namun, penerapannya tidak terlepas dari berbagai tantangan, terutama dalam mengintegrasikan prinsip efisiensi energi ke dalam tahap perancangan, konstruksi, dan operasional bangunan secara optimal (Puspitarini dkk., 2024).

Nainggolan dkk. (2023) menjelaskan bahwa terdapat beberapa tantangan utama dalam implementasi efisiensi energi pada bangunan gedung hijau sebagaimana berikut.

1. Biaya awal yang tinggi.
Penggunaan material bangunan ramah lingkungan dan efisien energi, seperti kaca dengan isolasi tinggi, panel surya, atau sistem HVAC

yang canggih membutuhkan investasi lebih besar pada tahap awal pembangunan. Meskipun biaya operasional jangka panjang dapat lebih rendah karena penghematan energi, investasi awal yang tinggi sering kali menjadi hambatan bagi pengembang atau pemilik bangunan untuk melaksanakan proyek tersebut (Dusia dkk., 2014).

2. Kurangnya pengetahuan dan keterampilan.

Tantangan besar lainnya adalah kurangnya pengetahuan dan keterampilan di kalangan profesional dalam industri konstruksi dan arsitektur mengenai prinsip-prinsip desain bangunan gedung hijau yang efisien energi. Arsitek, insinyur, kontraktor, serta pengembang properti sering kali tidak sepenuhnya memahami teknologi dan metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi dalam bangunan. Kekurangan pemahaman ini dapat memperlambat proses implementasi dan mengurangi keberhasilan proyek. Hal ini karena penerapan teknologi efisiensi energi yang tepat memerlukan keahlian khusus (Sholeh, 2023).

3. Keterbatasan infrastruktur dan teknologi.

Keterbatasan infrastruktur dan teknologi menjadi hambatan yang signifikan. Di beberapa daerah, akses terhadap teknologi efisien energi mungkin terbatas atau mahal. Untuk bangunan yang sudah ada, renovasi besar diperlukan untuk meningkatkan efisiensi energi yang memakan waktu, biaya, serta sumber daya. Selain itu, teknologi yang digunakan dalam bangunan gedung hijau terus berkembang sehingga memerlukan upaya untuk mengikuti perkembangan terbaru dalam teknologi efisiensi energi (Wibowo, 2024).

4. Kurangnya insentif atau dukungan kebijakan.

Di banyak wilayah, kurangnya insentif atau dukungan kebijakan dari pemerintah menjadi hambatan dalam penerapan efisiensi energi pada bangunan gedung hijau. Tanpa adanya kebijakan yang mendukung seperti pembebasan pajak atau subsidi untuk teknologi ramah lingkungan, banyak pengembang atau pemilik bangunan yang ragu untuk berinvestasi dalam bangunan gedung hijau. Meskipun terdapat

regulasi yang mengatur efisiensi energi, implementasinya sering kali tidak cukup mendalam untuk mendorong perubahan besar dalam industri konstruksi (Mustafa, 2024).

5. Resistensi terhadap perubahan.

Sering kali muncul resistensi terhadap perubahan dari pengembang, kontraktor, atau penghuni bangunan. Beberapa pihak enggan beralih ke teknologi atau metode baru karena ketidakpastian atau kekhawatiran tentang biaya dan efektivitasnya. Selain itu, penghuni bangunan mungkin tidak dapat melihat manfaat langsung dari efisiensi energi dalam jangka pendek. Hal ini dapat mengurangi motivasi untuk mendukung perubahan tersebut (Lendra dkk., 2024).

6. Perhitungan dan pengukuran efisiensi energi.

Tantangan lain adalah dalam menghitung dan mengukur efisiensi energi. Untuk mengetahui seberapa hemat energi sebuah bangunan, dibutuhkan alat dan metode pengukuran yang tepat. Tanpa sistem pemantauan energi yang baik, sulit menemukan bagian yang perlu diperbaiki atau memastikan bahwa teknologi penghemat energi berfungsi dengan benar. Selain itu, tanpa data yang akurat maka pengelolaan energi di dalam bangunan bisa menjadi kurang efektif (Tanoto, 2023).

7. Kebutuhan kolaborasi antar disiplin.

Efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau memerlukan kolaborasi erat antardisiplin ilmu, seperti arsitektur, teknik sipil, teknik mesin, dan manajemen properti. Tantangan muncul ketika tim yang terlibat tidak memiliki pemahaman yang sama mengenai kebutuhan dan tujuan efisiensi energi, atau ketika perbedaan pendekatan di masing-masing disiplin tidak dapat diintegrasikan dengan baik. Kolaborasi yang kurang optimal dapat memperlambat proses dan mengurangi efektivitas dari solusi yang diterapkan (Sholeh, 2023).

8. Penerapan teknologi yang terus berkembang.

Teknologi efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau terus berkembang dengan pesat. Hal ini menciptakan tantangan dalam mengadopsi



teknologi terbaru dengan tepat waktu. Sering kali, teknologi baru mungkin lebih mahal atau lebih kompleks sehingga memerlukan pengetahuan dan kesiapan lebih untuk mengimplementasikannya dengan sukses (Arifin dkk., 2023).

9. Pengaruh lingkungan eksternal.

Pengaruh lingkungan eksternal, seperti perubahan iklim dan kondisi cuaca ekstrem dapat memengaruhi penerapan efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau. Di daerah dengan suhu ekstrem atau iklim yang tidak stabil, penerapan teknologi efisiensi energi yang tepat memerlukan biaya tambahan dan perencanaan yang lebih matang. Misalnya untuk bangunan yang terletak di daerah yang sangat panas, desain isolasi termal yang lebih kuat dan sistem pendinginan yang efisien sangat diperlukan untuk menjaga kenyamanan penghuni (Wiraguna dan Purwanto, 2024).

10. Keterbatasan akses terhadap pendanaan.

Akses terhadap pendanaan yang memadai juga menjadi tantangan. Kredit atau pembiayaan untuk proyek bangunan gedung hijau yang efisien energi sering kali lebih terbatas dibandingkan dengan proyek pembangunan konvensional. Pengembang atau pemilik bangunan yang tidak memiliki akses ke pendanaan yang memadai akan kesulitan untuk mengimplementasikan teknologi efisiensi energi, meskipun pentingnya investasi ini sudah disadari.

Oleh karena itu, tantangan dalam implementasi efisiensi energi pada bangunan gedung hijau sangat kompleks dan melibatkan berbagai aspek, baik teknis, ekonomi, sosial, maupun kebijakan. Dari biaya awal yang lebih tinggi hingga keterbatasan pengetahuan, teknologi, dan kebijakan, pengembang dan pemilik bangunan menghadapi berbagai hambatan dalam merancang dan membangun bangunan yang efisien energi.

Namun dengan adanya dukungan kebijakan yang lebih baik, kerja sama yang lebih kuat antarberbagai bidang, serta kemajuan teknologi, berbagai tantangan tersebut bisa diatasi. Dengan begitu, penerapan efisiensi energi dalam bangunan hijau dapat berjalan lebih luas dan efektif sekaligus

membantu mewujudkan pembangunan yang lebih ramah lingkungan, lebih hemat biaya, dan lebih mendukung kesehatan.

Kendala Regulasi dan Dukungan Kebijakan

Kendala regulasi dan dukungan kebijakan sering kali menjadi tantangan signifikan dalam implementasi efisiensi energi, terutama dalam sektor bangunan gedung hijau, industri, dan sektor energi secara umum. Meskipun pemerintah di banyak negara telah mengakui pentingnya efisiensi energi untuk keberlanjutan lingkungan dan ekonomi, penerapan kebijakan dan regulasi yang mendukung efisiensi energi belum sepenuhnya optimal.

Dalam konteks Indonesia dan negara berkembang lainnya, masih terdapat berbagai kendala yang menghambat pengimplementasian kebijakan efisiensi energi secara efektif, di antaranya sebagai berikut.

1. Kendala dalam regulasi efisiensi energi.
 - a. Kurangnya standar dan pedoman yang jelas.

Beberapa sektor belum memiliki regulasi teknis yang jelas mengenai standar efisiensi energi yang harus diterapkan. Misalnya, meskipun ada beberapa peraturan yang mengatur tentang bangunan gedung hijau atau bangunan ramah lingkungan, sering kali peraturan tersebut belum cukup rinci dalam memberikan panduan teknis yang mudah diimplementasikan di lapangan.

Pemerintah perlu melakukan penyempurnaan regulasi dan standar teknis dengan menggandeng pihak terkait, seperti asosiasi industri, universitas, dan konsultan teknis. Penyusunan regulasi yang lebih rinci, serta pembuatan pedoman teknis yang jelas dapat membantu sektor industri dan pembangunan dalam menerapkan efisiensi energi secara efektif. Misalnya, dengan merinci bahan bangunan yang ramah lingkungan atau alat-alat yang hemat energi yang dapat digunakan dalam pembangunan dan renovasi gedung.
 - b. Tidak adanya regulasi yang menjamin kepatuhan.

Meskipun berbagai kebijakan yang mendukung efisiensi energi telah ada, implementasinya sering kali terhambat oleh kurangnya

pengawasan dan penegakan hukum yang memadai. Tanpa pengawasan yang cukup, banyak sektor yang cenderung tidak mematuhi standar efisiensi energi karena minimnya sanksi yang jelas dan cukup menekan untuk mendorong kepatuhan.

Oleh karena itu, sangat penting untuk memperkuat sistem pengawasan dan penegakan hukum terkait penerapan efisiensi energi. Salah satu langkah yang dapat diambil pemerintah adalah dengan membentuk badan pengawas yang memiliki tugas untuk memastikan setiap bangunan atau perusahaan mematuhi regulasi yang telah ditetapkan.

Selain itu, memberikan insentif atau penghargaan bagi mereka yang berhasil menerapkan efisiensi energi juga dapat menjadi cara efektif untuk mendorong kepatuhan dan meningkatkan adopsi teknologi ramah energi di sektor yang lebih luas.

c. Ketidakjelasan prioritas kebijakan energi.

Dalam beberapa kasus, kebijakan yang ada tidak memprioritaskan efisiensi energi atau tidak cukup mengintegrasikan isu ini dalam kebijakan energi secara keseluruhan. Misalnya, Indonesia telah mengembangkan beberapa inisiatif kebijakan energi terbarukan, namun efisiensi energi belum sepenuhnya diprioritaskan dalam berbagai sektor yang mengkonsumsi energi besar.

Pemerintah perlu memasukkan efisiensi energi sebagai prioritas utama dalam kebijakan energi nasional serta daerah dengan menetapkan tujuan yang jelas dan terukur. Kebijakan tersebut harus mencakup pengembangan sektor efisiensi energi secara menyeluruh dengan dukungan anggaran, insentif, dan regulasi yang lebih baik.

2. Kendala dalam dukungan kebijakan energi.

a. Keterbatasan anggaran dan pembiayaan.

Salah satu kendala utama dalam implementasi efisiensi energi adalah keterbatasan anggaran dan sumber daya finansial untuk mendukung proyek efisiensi energi. Meskipun manfaat efisiensi

energi dalam jangka panjang dapat signifikan, investasi awal yang diperlukan untuk teknologi efisien energi seperti sistem HVAC yang hemat energi, lampu LED, atau sistem pemanas berbasis energi terbarukan sering kali cukup mahal, terutama di sektor bangunan dan industri.

Untuk mengatasi keterbatasan anggaran ini, pemerintah dapat memberikan insentif finansial atau subsidi bagi sektor yang mengadopsi teknologi efisiensi energi. Contohnya, memberikan pembiayaan dengan bunga rendah atau pembiayaan berbasis penghematan energi (ESCO) di mana pembayaran dilakukan berdasarkan penghematan energi yang dicapai. Selain itu, pemerintah dapat menggandeng institusi keuangan untuk menyediakan pinjaman hijau yang dapat dimanfaatkan oleh pihak yang ingin berinvestasi dalam teknologi efisiensi energi.

b. Minimnya dukungan bagi inovasi teknologi.

Pemerintah sering kali memiliki keterbatasan dalam mendukung inovasi teknologi yang diperlukan untuk efisiensi energi. Banyak sektor, terutama di Indonesia masih sangat bergantung pada teknologi lama yang belum efisien dalam mengelola konsumsi energi. Padahal, untuk mendorong efisiensi energi penting untuk mengembangkan atau mengimpor teknologi baru yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan.

Pemerintah dapat mengalokasikan lebih banyak dana untuk riset dan pengembangan (R&D) dalam teknologi efisiensi energi. Dukungan berupa subsidi penelitian untuk pengembangan teknologi baru, serta insentif pajak bagi perusahaan yang berinvestasi dalam riset dan pengembangan teknologi efisiensi energi dapat mempercepat inovasi dan adopsi teknologi yang lebih efisien.

c. Kurangnya koordinasi antarlembaga pemerintah.

Dalam banyak kasus, penerapan kebijakan efisiensi energi terhambat oleh kurangnya koordinasi antara berbagai lembaga pemerintahan yang terlibat, seperti kementerian energi, kementerian



perumahan, dan kementerian lingkungan hidup. Setiap kementerian atau lembaga mungkin memiliki kebijakan yang berbeda atau bahkan tumpang tindih dalam hal efisiensi energi sehingga tidak ada satu arahan kebijakan yang jelas untuk seluruh sektor.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan koordinasi yang lebih baik antarlembaga pemerintah. Pembentukan komite atau badan koordinasi khusus untuk efisiensi energi di tingkat nasional dapat mempercepat pelaksanaan kebijakan dengan memperjelas peran setiap lembaga. Komite ini bisa terdiri dari perwakilan berbagai kementerian, badan pengatur, serta pihak swasta untuk memas-tikan kebijakan dan regulasi yang saling mendukung.

Rekomendasi dan Tren Masa Depan

Efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau adalah langkah penting untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan. Beberapa rekomendasi dan tren masa depan yang dapat memperkuat penerapan efisiensi energi. Rekomendasi yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Integrasi teknologi pintar dalam bangunan.

Teknologi pintar seperti sistem manajemen energi berbasis *internet of things* (IoT) dan sensor pintar memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien dalam bangunan. Melalui teknologi ini, penggunaan energi dapat dipantau secara *real-time* dan sistem HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) serta pencahayaan dapat disesuaikan secara otomatis untuk menghemat energi (Kharisma dkk., 2024).

2. Penggunaan sumber energi terbarukan.

Bangunan gedung hijau harus semakin mengarah pada penggunaan sumber energi terbarukan, seperti panel surya, turbin angin kecil, dan pemanfaatan energi panas bumi. Integrasi sistem tenaga surya pada atap bangunan dapat menghasilkan energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi sebagian besar bangunan dan mengurangi ketergantungan pada listrik dari jaringan konvensional (Ferdyson dan Windarta, 2023).

3. Desain bangunan yang lebih efisien.

Untuk mencapai efisiensi energi yang optimal, desain bangunan harus memaksimalkan pencahayaan alami, ventilasi silang, dan penggunaan material yang memiliki sifat isolasi termal yang baik. Desain pasif seperti penggunaan dinding dan jendela yang tepat dapat mengurangi kebutuhan akan pendinginan dan pemanasan buatan (Nasution, 2024).

4. Sertifikasi bangunan gedung hijau dan insentif.

Pemerintah dan lembaga terkait dapat memperkuat insentif untuk bangunan yang mencapai sertifikasi hijau, seperti LEED (*leadership in energy and environmental design*) atau BREEAM (*building research establishment environmental assessment method*). Pemberian insentif seperti pengurangan pajak atau subsidi untuk penggunaan teknologi ramah lingkungan dapat mendorong lebih banyak bangunan untuk mengadopsi prinsip efisiensi energi (Septiana dkk., 2024).

5. Pendidikan dan pelatihan untuk pengelola bangunan.

Untuk memastikan penerapan efisiensi energi yang efektif, penting untuk memberikan pelatihan kepada pengelola dan pemilik bangunan tentang cara-cara mengurangi konsumsi energi, baik melalui pemeliharaan rutin atau penerapan teknologi baru. Pemahaman yang lebih baik tentang manajemen energi akan meningkatkan kinerja energi bangunan (Pratama dan Sisdiyanto, 2024).

Sementara itu, Rismayadi (2024) menjelaskan beberapa tren ke depan juga diperkirakan akan semakin mendukung upaya penerapan efisiensi energi.

1. Bangunan dengan *net zero* energi.

Salah satu tren masa depan yang semakin berkembang adalah bangunan dengan konsep *net zero energy*, yaitu bangunan yang menghasilkan energi setara dengan atau lebih dari yang mereka konsumsi selama setahun. Melalui penggunaan sumber energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan desain bangunan yang cerdas, bangunan ini dapat beroperasi tanpa ketergantungan pada pasokan energi eksternal (Ghaasyiyah dkk., 2021).



2. Bangunan berbasis material ramah lingkungan.
Material bangunan yang ramah lingkungan, seperti beton dengan emisi rendah, bahan daur ulang, dan material yang mengurangi kebutuhan energi semakin banyak digunakan. Material ini tidak hanya membantu mengurangi jejak karbon, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi dalam jangka panjang (Rifkah, 2024).
3. Pemanfaatan big data untuk pengelolaan energi.
Dengan kemajuan teknologi data, bangunan masa depan akan semakin mengandalkan *big data* untuk memantau dan mengelola penggunaan energi. Melalui analisis data yang dikumpulkan dari sensor dan perangkat pintar, pengelola bangunan dapat melakukan prediksi penggunaan energi, merencanakan kebutuhan pemeliharaan, dan mengidentifikasi peluang penghematan energi yang lebih besar (Juroihan dkk., 2024).
4. Bangunan modular dan prefabrikasi.
Bangunan modular dan prefabrikasi semakin menjadi pilihan di masa depan, terutama karena efisiensi waktu dan biaya yang mereka tawarkan. Dengan teknik prefabrikasi yang lebih efisien, bangunan dapat dirancang dan dibangun dengan mempertimbangkan prinsip efisiensi energi sejak tahap perancangan. Hal ini tidak hanya mengurangi waktu konstruksi, tetapi juga meminimalkan pemborosan material (Putri dan Purwantiasning, 2021).
5. Masyarakat yang lebih tanggap terhadap efisiensi energi.
Tren ke depan menunjukkan bahwa masyarakat semakin sadar akan pentingnya efisiensi energi dan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh bangunan. Kesadaran ini akan mendorong permintaan akan bangunan gedung hijau dan dapat memacu perubahan dalam kebijakan dan industri untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (Abilawa dan Isa, 2024).
6. Desain bangunan yang mengutamakan kesehatan penghuni.
Selain efisiensi energi, desain bangunan gedung hijau juga semakin mengutamakan faktor kesehatan bagi penghuni, seperti pencahayaan yang optimal, ventilasi yang baik, dan pengurangan polusi udara dalam

ruangan. Tren ini menunjukkan bahwa masa depan bangunan gedung hijau tidak hanya tentang efisiensi energi, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup penghuni.

Dengan berkembangnya teknologi dan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan, efisiensi energi dalam bangunan gedung hijau akan terus menjadi fokus utama. Rekomendasi dan tren masa depan di atas menunjukkan arah yang semakin positif bagi penerapan efisiensi energi. Hal ini dapat membantu mengurangi jejak karbon dan meningkatkan kualitas hidup penghuni bangunan. Dengan dukungan kebijakan yang tegas dan inovasi teknologi, penerapan langkah-langkah ini akan memastikan bahwa bangunan di masa depan lebih berkelanjutan serta efisien dalam penggunaan energi.





Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB VIII

TRANSFORMASI BANGUNAN GEDUNG HIJAU

Manfaat Jangka Panjang Bangunan Gedung Hijau dengan Efisiensi Energi

Bangunan gedung hijau merupakan konsep konstruksi yang mengutamakan efisiensi energi, penggunaan sumber daya yang berkelanjutan, dan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan bangunan konvensional. Manfaat jangka panjang dari bangunan gedung hijau dengan efisiensi energi sangat beragam, termasuk penghematan energi dan biaya operasional.

Dengan menerapkan desain yang efisien, seperti penggunaan pencahayaan alami, sistem ventilasi yang optimal, serta teknologi hemat energi seperti panel surya dan sensor otomatis, bangunan gedung hijau dapat mengurangi konsumsi listrik secara signifikan. Hal ini akan berdampak langsung pada penurunan biaya operasional dalam jangka panjang.

Selain penghematan energi, bangunan gedung hijau juga meningkatkan kualitas udara dan kesehatan penghuninya. Penggunaan material ramah lingkungan yang minim emisi senyawa beracun, seperti *volatile organic compounds* (VOC), serta sistem ventilasi yang baik memastikan sirkulasi udara yang optimal sehingga meningkatkan kesehatan dan produktivitas penghuninya.

Bangunan gedung hijau juga berkontribusi dalam mengurangi jejak karbon dengan mengurangi konsumsi energi berbasis fosil. Teknologi seperti pemanenan air hujan, pemanfaatan energi terbarukan, dan insulasi termal turut berperan dalam menekan emisi gas rumah kaca sehingga membantu mengatasi perubahan iklim.

Ketahanan terhadap perubahan iklim merupakan salah satu manfaat penting dari bangunan hijau. Dengan desain yang lebih adaptif seperti penggunaan atap hijau untuk mengurangi efek pulau panas di kota dan pemakaian material yang tahan terhadap cuaca ekstrem, bangunan hijau menjadi lebih siap menghadapi tantangan iklim di masa depan.

Selain itu, nilai properti bangunan gedung hijau cenderung lebih tinggi dibandingkan bangunan konvensional. Hal ini disebabkan oleh biaya operasional yang lebih rendah, mengingat efisiensi energi dan pengurangan konsumsi energi yang dihasilkan dari teknologi bangunan gedung hijau. Properti yang lebih hemat biaya ini menjadi lebih menarik bagi pembeli dan penyewa yang peduli terhadap lingkungan dan ingin mengurangi pengeluaran jangka panjang. Efisiensi energi dan keberlanjutan yang ditawarkan membuat bangunan ini lebih bernilai di pasar properti sekaligus memberikan manfaat finansial yang lebih besar bagi pemilik atau penyewa.

Bangunan gedung hijau juga mendukung keberlanjutan dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Banyak negara dan kota yang mulai menerapkan regulasi ketat terkait keberlanjutan bangunan. Dalam hal ini, pembangunan bangunan gedung hijau memastikan kepatuhan terhadap regulasi yang ada dan bahkan dapat memberikan insentif ekonomi bagi pengembang serta pemiliknya.

Rekomendasi untuk Praktisi, Akademisi, dan Pemangku Kepentingan

Untuk mendorong implementasi bangunan gedung hijau secara lebih luas, diperlukan langkah-langkah strategis yang melibatkan berbagai pihak praktisi, seperti arsitek, kontraktor, dan pengembang properti perlu mengadopsi standar desain yang mengutamakan efisiensi energi dengan konsep pasif dalam bangunan. Selain itu, penggunaan material ramah lingkungan dan teknologi inovatif dalam proses konstruksi harus diterapkan untuk memastikan dampak lingkungan yang minimal sejak perencanaan hingga pembongkaran bangunan. Pendekatan siklus hidup bangunan juga menjadi penting untuk menjamin keberlanjutan dalam jangka panjang.

Di sisi akademisi dan peneliti, pengembangan riset dan inovasi dalam teknologi bangunan gedung hijau sangat diperlukan, termasuk dalam material bangunan yang lebih efisien dan sistem energi yang lebih berkelanjutan. Kurikulum pendidikan arsitektur dan teknik sipil juga perlu diperbarui dengan memasukkan konsep bangunan gedung hijau sebagai standar utama dalam desain dan pembangunan.

Pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya berperan dalam menerapkan regulasi dan insentif bagi pembangunan gedung hijau, seperti pemberian sertifikasi bangunan ramah lingkungan, serta mendorong investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi hijau. Masyarakat juga perlu diberi pemahaman lebih lanjut melalui kampanye dan edukasi mengenai manfaat bangunan gedung hijau agar kesadaran terhadap keberlanjutan meningkat.

Arah Pengembangan Bangunan Gedung Hijau di Masa Depan

Masa depan bangunan gedung hijau bergantung pada inovasi teknologi dan kebijakan yang mendukung transisi menuju pembangunan berkelanjutan. Salah satu arah pengembangannya adalah integrasi teknologi cerdas atau *smart building*, di mana penerapan sistem *internet of things* (IoT) dan



artificial intelligence (AI) memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien dengan otomatisasi penggunaan listrik, pendinginan, dan pencahayaan sesuai kebutuhan. Selain itu, pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari, angin, dan biomassa akan semakin menjadi bagian integral dalam desain bangunan gedung hijau untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Pengembangan bangunan hijau ke depan akan semakin mengarah pada prinsip ekonomi sirkular. Konsep ini menekankan pemakaian material yang bisa didaur ulang dan penggunaan sumber daya secara efisien sepanjang masa pakai bangunan. Selain itu, bangunan hijau masa depan akan dirancang lebih adaptif terhadap perubahan iklim, misalnya dengan meningkatkan ketahanan terhadap banjir, badai, dan suhu ekstrem melalui teknologi adaptif dan penggunaan bahan-bahan inovatif.

Dengan mengintegrasikan konsep bangunan gedung hijau ke dalam kebijakan pembangunan dan inovasi teknologi, transformasi menuju lingkungan binaan yang lebih berkelanjutan dapat tercapai. Hal ini memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan bagi generasi mendatang.



BAB IX

BEST PRACTICE PENGHEMATAN ENERGI PADA GEDUNG BUMN, GEDUNG PEMERINTAHAN, DAN GEDUNG KAMPUS

Penghematan Energi di Gedung BUMN

Badan Usaha Milik Negara (BUMN) telah menerapkan berbagai kebijakan dalam rangka efisiensi energi, di antaranya melalui standar ISO 50001 untuk sistem manajemen energi. Regulasi seperti Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 9 Tahun 2018 tentang Pencabutan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Terkait Kegiatan di Bidang Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi juga mendorong penghematan energi dengan optimalisasi pencahayaan, sistem pendingin udara, dan pemanfaatan energi terbarukan. Selain itu, beberapa BUMN telah mengembangkan pedoman internal untuk memastikan strategi pengelolaan energi yang efektif dan berkelanjutan.

Pemanfaatan teknologi menjadi kunci utama dalam mencapai efisiensi energi. Lampu LED hemat energi menggantikan sistem pencahayaan konvensional, sedangkan sensor otomatis digunakan untuk mengontrol pencahayaan dan pendingin ruangan berdasarkan kebutuhan. Sistem HVAC berbasis IoT memungkinkan pengaturan suhu yang lebih efisien sesuai dengan jumlah penghuni dan kondisi lingkungan. Selain itu, implementasi *building energy management system* (BEMS) memfasilitasi pemanfaatan konsumsi energi secara *real-time* sehingga potensi pemborosan dapat diminimalkan.

Beberapa gedung BUMN telah membuktikan keberhasilan implementasi strategi efisiensi energi. Misalnya, gedung Pertamina di Jakarta mengoptimalkan penggunaan panel surya dan sistem pendingin otomatis yang berhasil mengurangi konsumsi listrik hingga 30%. Gedung PLN di Bandung menerapkan teknologi *smart grid* dan sensor otomatis yang berkontribusi pada penghematan biaya listrik sekitar 20% per tahun. Sementara itu, gedung Bank Mandiri di Surabaya mengadopsi konsep *green office* dengan sistem pendingin berbasis air yang menghasilkan efisiensi energi sebesar 25% dalam lima tahun terakhir.

Agar efisiensi energi dapat terus ditingkatkan, BUMN perlu memperkuat kebijakan internal dan mengembangkan strategi jangka panjang. Investasi dalam pembaruan sistem pencahayaan, otomatisasi gedung, serta penggunaan sumber energi terbarukan menjadi langkah penting dalam mencapai target efisiensi. Selain itu, program edukasi bagi karyawan tentang pentingnya penghematan energi dapat membantu membangun budaya kerja yang lebih ramah lingkungan. Dengan pendekatan yang menyeluruh, BUMN dapat mengoptimalkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, serta memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan.

Penghematan Energi di Gedung Pemerintahan

Efisiensi energi di gedung pemerintahan adalah langkah strategis yang tidak hanya berkontribusi pada pengurangan biaya operasional, tetapi juga

mendukung keberlanjutan lingkungan. Sebagai pusat pelayanan publik, gedung-gedung pemerintahan memiliki peran penting dalam contoh penerapan efisiensi energi yang dapat diadopsi oleh masyarakat luas.

Pemerintah telah menerapkan berbagai kebijakan untuk memastikan efisiensi energi di gedung-gedung publik. Regulasi ini mencakup standar teknis dalam pembangunan dan renovasi gedung, pemberian insentif bagi institusi yang menerapkan teknologi hemat energi, serta penetapan target pengurangan konsumsi energi dalam jangka panjang. Penerapan teknologi menjadi salah satu kunci utama dalam mencapai efisiensi energi di gedung pemerintahan.

Berikut ini terdapat beberapa langkah yang telah diterapkan sebagaimana berikut.

1. Desain bangunan ramah lingkungan.
Penggunaan ventilasi alami, pencahayaan alami, serta material bangunan dengan isolasi termal tinggi dapat mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan dan pencahayaan. Desain ini memungkinkan gedung untuk lebih efisien dalam mengelola suhu dan pencahayaan alami, serta mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin dan penerangan buatan.
2. Pemanfaatan energi terbarukan.
Penggunaan panel surya untuk menghasilkan listrik dan pemanas air tenaga surya mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang biasanya lebih mahal dan berkontribusi pada polusi. Teknologi ini juga dapat menghasilkan energi yang lebih bersih dan lebih ramah lingkungan sehingga mendukung upaya transisi ke sumber energi terbarukan.
3. Sistem manajemen energi cerdas.
Penggunaan sensor otomatis untuk pencahayaan dan sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) yang dapat menyesuaikan konsumsi energi sesuai kebutuhan memungkinkan gedung untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Sistem ini secara otomatis mengurangi pemborosan energi dengan mematikan atau



menyesuaikan pengaturan sistem sesuai dengan aktivitas di dalam gedung, seperti mengatur suhu berdasarkan jumlah orang yang hadir atau kondisi cuaca.

4. Pengelolaan air yang efektif.

Teknologi daur ulang air dan penggunaan perlengkapan hemat air membantu mengurangi konsumsi air bersih dan menurunkan biaya operasional gedung. Dengan memanfaatkan air hujan atau mengolah air bekas pakai untuk keperluan nonkonsumsi, gedung pemerintahan dapat mengurangi ketergantungan pada pasokan air bersih yang semakin terbatas di banyak daerah.

Beberapa gedung pemerintahan di berbagai negara telah berhasil menerapkan strategi efisiensi energi dengan hasil yang signifikan. Salah satu contoh yang menonjol adalah penerapan sistem pencahayaan berbasis LED yang dilengkapi dengan sensor gerak. Langkah ini telah berhasil mengurangi konsumsi listrik untuk pencahayaan hingga 30%. Pemasangan panel surya di atap gedung tidak hanya menghasilkan listrik mandiri, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional sehingga dapat menghemat biaya energi dalam jangka panjang.

Contohnya, gedung Parlemen di Jerman telah mengadopsi sistem manajemen energi digital yang memungkinkan pemantauan dan pengoptimalan konsumsi energi di seluruh bangunan. Dalam satu dekade terakhir, penerapan sistem ini berhasil mengurangi konsumsi energi hingga 40%.

Selain menghemat biaya, penerapan efisiensi energi di gedung pemerintahan memiliki dampak yang lebih luas bagi masyarakat. Sebagai institusi publik, gedung-gedung pemerintahan dapat menjadi contoh bagi sektor swasta dan masyarakat umum dalam menerapkan praktik hemat energi. Kesadaran ini dapat mendorong lebih banyak inisiatif ramah lingkungan di berbagai sektor, mulai dari bangunan komersial hingga rumah tangga.

Pengurangan konsumsi energi di gedung pemerintahan juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon yang merupakan salah satu faktor utama dalam mitigasi perubahan iklim. Dengan mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan beralih ke energi terbarukan, gedung

pemerintahan turut serta dalam upaya global untuk menanggulangi pemanasan global dan dampak negatif lainnya.

Secara umum, dengan dukungan kebijakan yang tepat dan penggunaan teknologi yang efektif maka gedung-gedung pemerintahan bisa berperan besar dalam mewujudkan lingkungan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Penerapan efisiensi energi tidak hanya bertujuan untuk menekan biaya operasional, tetapi juga menjadi langkah penting dalam menjaga kelestarian sumber daya alam dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penghematan Energi di Gedung Kampus

Penghematan energi di gedung kampus merupakan langkah krusial dalam mendukung keberlanjutan dan menciptakan lingkungan pendidikan yang lebih efisien. Kampus sebagai fasilitas yang digunakan intensif oleh mahasiswa, dosen, dan staf, sering kali menghadapi tantangan tinggi dalam pengelolaan energi. Penggunaan energi yang signifikan terlihat pada pencahayaan, pendinginan ruangan, serta berbagai peralatan elektronik (Akhmad dkk., 2024).

Oleh karena itu, penerapan strategi efisiensi energi yang efektif sangat diperlukan untuk mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional tanpa mengurangi kenyamanan dan produktivitas. Strategi efisiensi energi di kampus yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Optimalisasi penggunaan pencahayaan.

Pencahayaan merupakan salah satu penyumbang konsumsi energi terbesar di gedung kampus. Untuk menguranginya, penting untuk memanfaatkan cahaya alami sebanyak mungkin, misalnya dengan memasang jendela besar atau *skylight*. Selain itu, penggunaan lampu hemat energi seperti lampu LED dan sensor otomatis yang menyesuaikan pencahayaan dengan kebutuhan juga dapat mengurangi penggunaan listrik secara signifikan.

2. Manajemen sistem pendinginan.

Sistem pendingin ruangan (AC) sering kali menjadi faktor utama dalam tingginya konsumsi energi di kampus. Penerapan teknologi pendingin hemat energi seperti penggunaan AC dengan inverter atau sistem ventilasi alami dapat mengurangi kebutuhan pendinginan buatan. Di samping itu, menjaga suhu ruangan pada kisaran 24—26°C serta melakukan perawatan rutin pada perangkat AC juga akan mengoptimalkan efisiensi energi dan memperpanjang umur perangkat.

3. Pemanfaatan energi terbarukan.

Penerapan energi terbarukan seperti pemasangan panel surya di atap gedung memungkinkan kampus untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Dengan memanfaatkan energi matahari, kampus dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan listriknya, mulai dari pencahayaan luar ruangan hingga pemanas air. Energi terbarukan juga dapat menurunkan biaya operasional dalam jangka panjang.

4. Efisiensi penggunaan peralatan elektronik.

Penggunaan peralatan elektronik seperti komputer, laboratorium, dan perangkat audiovisual juga memengaruhi konsumsi energi di kampus. Untuk mengoptimalkan penggunaan energi, kampus dapat menerapkan kebijakan untuk mematikan perangkat yang tidak digunakan atau menggunakan fitur penghemat energi seperti mode tidur (*sleep mode*) pada komputer. Penerapan peralatan dengan sertifikasi efisiensi energi seperti *energy star* juga dapat mengurangi penggunaan daya listrik.

5. Peningkatan kesadaran energi di kalangan civitas akademika.

Kesadaran tentang pentingnya penghematan energi sangat menentukan keberhasilan implementasi strategi efisiensi energi. Kampus dapat mengadakan pelatihan dan kampanye untuk meningkatkan pemahaman tentang efisiensi energi di kalangan mahasiswa dan staf. Kampus juga dapat memberikan insentif bagi fakultas atau departemen yang berhasil mengurangi konsumsi energi sehingga mendorong partisipasi aktif dari seluruh civitas akademika.

Penghematan energi tidak hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga mendatangkan dampak positif dalam aspek lingkungan dan sosial. Beberapa dampaknya adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi jejak karbon.

Dengan mengurangi konsumsi energi dari sumber fosil, kampus dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dan mendukung pencapaian tujuan emisi karbon yang lebih rendah.

2. Meningkatkan kualitas lingkungan.

Penggunaan sistem pencahayaan dan ventilasi yang efisien dapat menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan sehat bagi mahasiswa dan staf.

3. Menjadi teladan bagi masyarakat.

Kampus yang menerapkan efisiensi energi dapat menjadi model bagi institusi lainnya serta memberikan contoh yang baik bagi mahasiswa dalam menerapkan gaya hidup berkelanjutan.

4. Mendukung regulasi lingkungan.

Penerapan efisiensi energi juga berkontribusi pada kepatuhan kampus terhadap regulasi lingkungan yang semakin ketat sekaligus membantu mendapatkan insentif ekonomi dari pemerintah.

Berdasarkan hal tersebut, salah satu contoh kampus di Indonesia yang berhasil melakukan penghematan energi dengan strategi khusus adalah Universitas Gadjah Mada (UGM) di Yogyakarta. UGM telah mengimplementasikan sejumlah kebijakan dan strategi efisiensi energi yang tidak hanya berhasil mengurangi konsumsi energi, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap anggaran operasional dan kontribusi dalam penelitian keberlanjutan (Utami dkk., 2018).

Dengan demikian, upaya penghematan energi di gedung kampus mendukung terciptanya sistem pendidikan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Melalui penerapan strategi yang tepat, kampus dapat secara nyata menurunkan penggunaan energi dan mengurangi biaya operasional. Manfaat dari langkah ini tidak hanya terlihat dari sisi penghematan, tetapi

juga memberikan kontribusi positif terhadap pelestarian lingkungan dan peningkatan kualitas hidup seluruh warga kampus.

Rekomendasi Kebijakan dan Standar untuk Penghematan Energi di Gedung BUMN, Pemerintahan, dan Kampus

Penghematan energi di gedung-gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus bukan hanya sekadar kebutuhan untuk mengurangi biaya operasional, tetapi juga merupakan langkah penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Untuk itu, kebijakan dan standar yang komprehensif perlu diterapkan guna memaksimalkan efisiensi energi. Beberapa rekomendasi kebijakan dan standar yang dapat diimplementasikan di gedung-gedung tersebut adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan energi terbarukan.

Pemanfaatan energi terbarukan harus menjadi prioritas dalam kebijakan penghematan energi, baik di tingkat nasional maupun institusional. Salah satu langkah konkret yang dapat diambil adalah pemasangan sistem energi terbarukan, seperti panel surya di atap gedung. Dengan energi matahari, gedung-gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus dapat memenuhi berbagai kebutuhan, mulai dari pencahayaan hingga pemanas air sehingga akan mengurangi biaya listrik dan menurunkan jejak karbon gedung.

2. Desain bangunan.

Desain bangunan yang efisien dalam penggunaan energi merupakan hal yang tidak bisa diabaikan. Dalam perencanaan gedung baru, standar efisiensi energi harus diterapkan dengan memperhatikan penggunaan material yang ramah lingkungan dan pengaturan pencahayaan alami. Beberapa strategi yang dapat diterapkan adalah penggunaan jendela besar untuk memaksimalkan cahaya alami, penggunaan bahan bangunan yang memiliki isolasi termal baik, serta penerapan teknologi

pencahayaannya hemat energi, seperti lampu LED dan sensor otomatis yang menyesuaikan pencahayaannya dengan tingkat okupansi.

3. Implementasi sistem manajemen energi.

Setiap gedung BUMN, pemerintahan, atau kampus perlu memiliki sistem manajemen energi (*energy management system*) yang berfungsi untuk memantau dan mengelola konsumsi energi secara *real-time*. Penggunaan teknologi *smart meters* memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien dan berbasis data yang akurat. Dengan adanya sistem ini, setiap pihak yang terlibat dalam pengelolaan gedung dapat mengetahui pola konsumsi energi dan melakukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk mengurangi pemborosan.

4. Perawatan rutin dan pemeliharaan peralatan energi.

Perawatan rutin pada peralatan yang mengonsumsi energi sangat penting untuk menjaga agar alat-alat tersebut berfungsi secara optimal. Hal ini tidak hanya memperpanjang umur perangkat, tetapi juga mengurangi risiko pemborosan energi. Di BUMN, instansi pemerintahan, dan kampus, kebijakan perawatan rutin harus meliputi pengecekan sistem AC, pencahayaannya, serta perangkat energi lainnya secara berkala. Selain itu, audit energi perlu dilakukan secara teratur untuk memastikan bahwa setiap perangkat beroperasi dengan efisiensi maksimal.

5. Pendidikan dan pelatihan kesadaran energi.

Kesadaran mengenai pentingnya penghematan energi harus ditanamkan pada seluruh penghuni gedung, baik itu karyawan, mahasiswa, maupun pengelola gedung. Program pelatihan yang fokus pada penggunaan energi secara bijak dapat dilakukan di berbagai level, dari ruang kelas hingga ruang kerja. Kampus, BUMN, dan pemerintahan harus mengintegrasikan pelatihan efisiensi energi dalam kurikulum dan program orientasi bagi semua pihak yang terlibat. Oleh karena itu, penghematan energi dapat menjadi kebiasaan yang diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

6. Implementasi teknologi cerdas untuk pengelolaan energi.
Penerapan teknologi cerdas seperti sensor otomatis untuk pengaturan pencahayaan, suhu ruangan, dan sistem HVAC (*heating, ventilation, air conditioning*) dapat membantu memaksimalkan efisiensi energi. Di gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus, teknologi ini memungkinkan pengaturan energi yang lebih presisi, mengurangi penggunaan energi pada saat ruangan kosong, dan menyesuaikan suhu serta pencahayaan sesuai dengan kebutuhan. Penggunaan teknologi ini juga memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh untuk memastikan penggunaan energi yang optimal.
7. Penggunaan material ramah lingkungan dalam konstruksi.
Penggunaan material yang ramah lingkungan dan efisien dalam konsumsi energi sangat penting dalam mendukung penghematan energi jangka panjang. Gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus seharusnya mengadopsi kebijakan yang mengharuskan penggunaan material dengan standar efisiensi energi dan ramah lingkungan dalam proyek-proyek pembangunan atau renovasi gedung. Material dengan isolasi termal yang baik, kaca yang mengurangi panas, serta bahan yang tahan lama dan rendah emisi karbon harus menjadi pilihan utama dalam desain bangunan.
8. Insentif dan regulasi pemerintah.
Pemerintah dapat memberikan insentif kepada gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus yang berhasil mengimplementasikan kebijakan penghematan energi dengan baik. Misalnya, dengan memberikan insentif pajak atau subsidi untuk pemasangan sistem energi terbarukan atau teknologi efisiensi energi lainnya. Di samping itu, regulasi yang mendukung penerapan penghematan energi perlu diperkenalkan, seperti kewajiban untuk mengurangi konsumsi energi atau menetapkan target pengurangan emisi karbon tertentu. Regulasi ini juga harus mencakup pelaporan secara transparan mengenai pencapaian efisiensi energi.

9. Pemantauan dan pelaporan secara berkala.

Pemantauan penggunaan energi harus dilakukan secara terus-menerus untuk memastikan bahwa kebijakan penghematan energi berjalan sesuai rencana. Laporan tahunan mengenai penggunaan energi dan penghematan yang telah dicapai perlu disusun dengan transparan oleh pihak pengelola gedung. Laporan tersebut akan membantu memantau kinerja kebijakan dan memberikan gambaran tentang dampaknya terhadap pengurangan biaya operasional serta kontribusinya terhadap pengurangan jejak karbon. Dengan adanya sistem pelaporan yang jelas, pengelolaan energi dapat lebih terkontrol dan terukur.

10. Desain berkelanjutan untuk masa depan.

Desain berkelanjutan menjadi bagian integral dari kebijakan penghematan energi yang harus diterapkan dalam pembangunan gedung baru maupun renovasi gedung yang ada. Gedung BUMN, pemerintahan, dan kampus perlu mengintegrasikan prinsip desain berkelanjutan. Hal ini tidak hanya mencakup efisiensi energi, tetapi juga penggunaan air yang hemat, pengelolaan limbah yang baik, serta pemanfaatan ruang terbuka hijau. Ruang hijau di sekitar gedung dapat berfungsi sebagai pengatur suhu yang mengurangi kebutuhan pendinginan sehingga akan mengurangi konsumsi energi.





Efisiensi Energi
pada
**BANGUNAN
GEDUNG HIJAU**
Panduan Perhitungan dan Implementasi



BAB X

APLIKASI PERHITUNGAN ENERGI, PENCAHAYAAN, DAN ENERGI TERBARUKAN PADA BANGUNAN

Aplikasi untuk Perhitungan Energi Gedung

Menghitung kebutuhan energi pada bangunan menjadi langkah penting untuk memastikan penggunaan energi yang optimal dan efisien dalam perancangannya. Saat ini, sudah tersedia berbagai jenis perangkat lunak (*software*) yang dirancang khusus untuk membantu insinyur dan arsitek mensimulasikan pemakaian energi, menganalisis pengaruh iklim, serta merancang sistem bangunan yang hemat energi dan efektif.

Beberapa aplikasi yang sering digunakan untuk perhitungan energi gedung, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Energy plus*

Energy plus merupakan perangkat lunak simulasi energi yang dikembangkan oleh U.S. *Department of Energy* (DOE). Aplikasi ini digunakan

untuk menganalisis performa energi dari berbagai sistem bangunan, termasuk pemanasan, ventilasi, pendinginan, pencahayaan, dan energi terbarukan.

Fitur utama yang dimiliki *energy plus* adalah sebagai berikut.

- a. Simulasi termal untuk menganalisis suhu dan aliran udara dalam bangunan.
- b. Desain ventilasi dan pencahayaan dengan mempertimbangkan cahaya alami.
- c. Integrasi sistem energi terbarukan, seperti panel surya fotovoltaik (PV) dan pemanas air tenaga surya.
- d. Interoperabilitas dengan perangkat lunak lain seperti OpenStudio.

2. TRNSYS (*transient system simulation tool*)

TRNSYS adalah perangkat lunak simulasi sistem energi yang digunakan untuk menganalisis dan merancang sistem energi termal dalam bangunan. TRNSYS digunakan untuk memodelkan sistem energi dinamis, termasuk pemanasan, pendinginan, ventilasi, dan penerapan energi terbarukan. Perangkat lunak ini sering digunakan dalam desain bangunan berkelanjutan dan untuk menguji berbagai skenario dalam pengelolaan energi.

Fitur utama yang ada TRNSYS (*transient system simulation tool*) adalah sebagai berikut.

- a. Simulasi sistem energi dinamis, termasuk sistem HVAC dan energi terbarukan.
- b. Kemampuan untuk memodelkan proses termal secara rinci, termasuk penyimpanan energi dan penggunaan energi terbarukan.
- c. Analisis dampak iklim terhadap konsumsi energi dalam bangunan.
- d. Modeling sistem ventilasi, pemanasan, dan pendinginan yang efisien.

3. IES VE (*integrated environmental solutions virtual environment*)

IES VE adalah platform perangkat lunak yang menyediakan alat untuk merancang dan menganalisis kinerja energi serta lingkungan bangunan. Aplikasi ini menawarkan simulasi komprehensif untuk

perhitungan energi, pencahayaan, dan pengaruh iklim dalam desain bangunan, serta optimasi energi dengan menggunakan teknologi efisien.

IES VE menawarkan berbagai fitur canggih yang mendukung pendekatan berbasis data dalam desain bangunan yang lebih efisien dan berkelanjutan sebagaimana berikut.

- a. Simulasi termal, energi, dan pencahayaan untuk desain bangunan yang lebih efisien.
- b. Analisis dampak iklim dan evaluasi kinerja energi dari sistem bangunan.
- c. Optimasi energi dengan berbagai sumber energi terbarukan dan sistem HVAC.
- d. Kemampuan untuk integrasi dengan BIM (*building information modeling*) untuk mendukung desain yang lebih holistik.

4. *Open studio*

Open studio adalah alat desain bangunan terbuka yang dikembangkan oleh U.S. Department of Energy. Aplikasi ini digunakan untuk melakukan simulasi energi dan analisis kinerja bangunan, serta mendukung penggunaan sistem energi terbarukan. *Open studio* juga berintegrasi dengan *energy plus* yang memungkinkan simulasi lebih mendalam mengenai konsumsi energi bangunan dan optimasi desain.

Open studio memiliki fitur utama sebagaimana berikut.

- a. Antarmuka grafis untuk memodelkan bangunan dan sistem energi dengan mudah.
- b. Simulasi energi dan optimasi desain bangunan gedung hijau.
- c. Kemampuan untuk mengintegrasikan dengan perangkat lunak lain, seperti *energy plus* dan TRNSYS.
- d. Perhitungan energi terbarukan dan penerapan panel surya serta sistem HVAC yang efisien (Sezer dkk., 2023).

Dengan aplikasi di atas, para insinyur dan arsitek dapat merancang gedung yang lebih efisien energi, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Pemilihan perangkat lunak yang

tepat bergantung pada jenis proyek, kebutuhan analisis, serta integrasi teknologi yang diinginkan.

Aplikasi untuk Perhitungan Pencahayaan di Gedung

Dalam perkembangan arsitektur modern yang semakin pesat, pencahayaan dalam suatu bangunan tidak lagi sekadar sarana penerangan, tetapi juga memiliki dimensi estetika dan fungsional yang lebih mendalam. Cahaya yang tepat dapat menciptakan suasana, meningkatkan produktivitas, dan yang terpenting mengoptimalkan efisiensi energi. Dalam upaya mewujudkan bangunan ramah lingkungan, para arsitek, insinyur listrik, dan desainer pencahayaan mengandalkan berbagai perangkat lunak untuk memastikan setiap sudut ruangan mendapatkan pencahayaan yang ideal, baik dari sumber alami maupun buatan.

Di antara berbagai alat bantu yang tersedia, terdapat tiga perangkat lunak utama yang sering menjadi andalan dalam perhitungan pencahayaan.

1. Dialux

Bayangkan sebuah ruangan kosong yang gelap. Seorang desainer pencahayaan ingin menciptakan suasana yang nyaman dan fungsional. Dengan Dialux, simulasi pencahayaan dalam model 3D dapat dibangun sehingga memungkinkan penyesuaian intensitas cahaya, penentuan posisi lampu, serta analisis pencahayaan alami sepanjang hari.

Bukan sekadar alat untuk menata pencahayaan, Dialux menjadi medium eksplorasi efek cahaya sebelum diterapkan di dunia nyata. Berbagai katalog produk lampu dari merek-merek ternama tersedia di dalamnya, sehingga perancangan pencahayaan dapat dilakukan secara realistis dan sesuai standar internasional. Kemampuan luas yang dimiliki menjadikan Dialux pilihan utama dalam proyek-proyek yang menuntut keakuratan dan visualisasi detail, seperti perkantoran modern, pusat perbelanjaan, hingga stadion olahraga (Satwiko, 2011).

2. Relux

Dialux menghadirkan simulasi pencahayaan dengan visualisasi mendetail, sementara Relux menawarkan pendekatan yang lebih teknis dengan penekanan pada analisis energi. Seorang insinyur yang sedang merancang pencahayaan untuk sebuah gedung bertingkat tinggi harus memastikan bahwa setiap lampu yang digunakan tidak hanya memberikan kenyamanan visual, tetapi juga hemat energi.

Relux memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana cahaya berinteraksi dengan berbagai permukaan di dalam ruangan, bagaimana pantulan dari dinding, penyerapan oleh lantai, serta penyebaran di langit-langit yang memengaruhi hasil pencahayaan. Analisis konsumsi energi membantu pengguna menentukan kombinasi pencahayaan paling efisien tanpa mengorbankan kualitas visual.

Keunggulan lainnya, Relux dapat diintegrasikan dengan BIM (*building information modeling*) yang memungkinkan kolaborasi lebih baik antara arsitek dan insinyur listrik dalam proyek berskala besar. Dengan fitur ini, perencanaan pencahayaan menjadi lebih terstruktur serta mengurangi potensi pemborosan energi dan biaya operasional (Septyadiani dan Bramiana, 2024).

3. LDT (*lighting data tools*)

Di balik keindahan pencahayaan dalam sebuah ruangan, terdapat analisis teknis yang kompleks. *Lighting data tools* (LDT) adalah perangkat lunak yang berfokus pada analisis fotometrik, serta menyediakan informasi mendetail mengenai penyebaran cahaya yang dihasilkan oleh suatu lampu di dalam ruang.

Produsen lampu yang mengembangkan produk hemat energi memanfaatkan LDT untuk menguji berbagai desain reflektor dan *diffuser*. Hal ini untuk memastikan setiap watt listrik yang digunakan memberikan pencahayaan optimal. Begitu pula dengan desainer pencahayaan yang membandingkan performa berbagai jenis lampu sebelum menentukan pilihan terbaik untuk suatu proyek.

LDT mendukung impor dan analisis berkas pencahayaan dalam format EULUMDAT yang dapat dikombinasikan dengan simulasi di perangkat lunak, seperti Dialux atau Relux. Dengan pendekatan berbasis data ini, keputusan dalam perancangan pencahayaan menjadi lebih akurat dan tidak berdasarkan perkiraan.

Aplikasi untuk Perhitungan Penggunaan Energi Terbarukan

Dalam perencanaan dan pengelolaan energi terbarukan, perangkat lunak berbasis simulasi dan analisis menjadi alat yang sangat penting. Perangkat ini membantu merancang sistem energi yang efisien dan berkelanjutan, serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Salah satu aplikasi yang banyak digunakan dalam hal ini adalah HOMER (*hybrid optimization of multiple energy resources*).

HOMER adalah perangkat lunak yang dirancang untuk merancang, mensimulasikan, dan mengoptimalkan sistem energi berbasis sumber daya terbarukan, seperti tenaga surya, angin, biomassa, serta sistem penyimpanan energi menggunakan baterai. HOMER memungkinkan perancang dan pengelola sistem energi untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi energi hibrida, termasuk energi terbarukan dan sumber energi konvensional seperti generator diesel atau jaringan listrik utama (*grid*) untuk mencapai solusi yang paling efisien dan ekonomis (Ariaga, 2024).

Penggunaan HOMER sangat luas, mulai dari perencanaan energi untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik, hingga aplikasi di kota besar untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Perangkat ini menjadi sangat bermanfaat dalam merancang sistem energi yang dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan memperbaiki dampak lingkungan dari konsumsi energi.

HOMER memiliki sejumlah fitur unggulan yang membuatnya menjadi alat yang sangat bermanfaat dalam perencanaan dan optimasi sistem energi terbarukan, di antaranya sebagai berikut.

1. Analisis kinerja dan biaya.

HOMER memungkinkan pengguna untuk menghitung berbagai aspek biaya, termasuk biaya modal awal (*capital cost*), biaya operasi dan pemeliharaan (*O&M cost*), serta biaya siklus hidup (*life-cycle cost*) dari sistem energi yang dirancang. Dengan perhitungan ini, HOMER membantu perencana untuk menentukan pilihan sistem yang paling ekonomis dan efisien dalam jangka panjang.

2. Simulasi penyimpanan energi.

Penyimpanan energi menjadi salah satu faktor kunci dalam sistem energi terbarukan, terutama untuk memastikan ketersediaan energi saat pasokan energi fluktuatif. HOMER memungkinkan simulasi terhadap penggunaan baterai atau sistem penyimpanan energi lainnya untuk memenuhi kebutuhan daya di luar jam produksi energi, seperti malam hari atau saat cuaca buruk. Oleh karena itu, HOMER dapat menentukan kapasitas penyimpanan energi yang tepat agar sistem tetap dapat berfungsi secara optimal.

3. Optimasi kombinasi sumber energi.

Dengan memasukkan data teknis dan ekonomis dari berbagai sumber energi, seperti tenaga surya, angin, dan sistem generator konvensional, HOMER dapat memberikan rekomendasi kombinasi yang paling efisien berdasarkan berbagai parameter, seperti kinerja teknis dan biaya operasional.

4. Evaluasi dampak lingkungan.

HOMER juga dapat digunakan untuk mengukur emisi karbon dari sistem energi yang dirancang. Dengan simulasi yang tepat, pengguna dapat memilih konfigurasi sistem yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini sangat berguna dalam upaya mengurangi jejak karbon dan mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan.



5. Analisis keandalan sistem.

Mengingat variabilitas pasokan energi terbarukan, HOMER dapat digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem energi yang dirancang. Dengan simulasi terhadap berbagai kondisi cuaca dan beban energi, HOMER membantu perencana untuk memastikan bahwa sistem akan tetap dapat memenuhi permintaan energi secara terus-menerus.

Selain itu, HOMER sangat penting dalam merancang dan mengoptimalkan sistem energi terbarukan dalam bangunan gedung hijau. Bangunan gedung hijau dirancang untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi energi. HOMER membantu merancang sistem yang berkelanjutan dalam konteks pembangunan gedung hijau sebagaimana berikut.

1. Perencanaan sistem tenaga surya untuk bangunan.

HOMER digunakan untuk merancang sistem panel surya yang efisien untuk memenuhi kebutuhan energi bangunan. Dengan data radiasi matahari dan pola konsumsi energi, HOMER menghitung jumlah panel surya yang diperlukan serta kapasitas baterai untuk menyimpan energi yang dihasilkan. Hasil simulasi memastikan sistem tenaga surya bekerja optimal.

2. Integrasi energi angin untuk gedung bertingkat di beberapa kawasan perkotaan.

HOMER membantu mengevaluasi kelayakan penggunaan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) di gedung bertingkat. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kecepatan angin dan lokasi, HOMER memberikan rekomendasi mengenai jumlah turbin angin yang sesuai untuk sistem energi gedung.

3. Manajemen energi dan pengurangan ketergantungan pada jaringan listrik.

Salah satu tujuan utama bangunan gedung hijau adalah mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik utama (*grid*). HOMER merancang sistem *off-grid* (terpisah dari jaringan) atau *grid-connected* (terhubung

dengan jaringan utama) sehingga bangunan dapat mengandalkan energi terbarukan. Dengan optimasi penyimpanan energi, HOMER memastikan bahwa pasokan daya selalu tersedia meskipun ada gangguan pada jaringan listrik.

4. Analisis penghematan biaya dan keekonomian.
- HOMER digunakan untuk menghitung biaya per kWh untuk sistem energi terbarukan yang dirancang. Pemilik bangunan gedung hijau dapat mengevaluasi penghematan biaya yang dihasilkan dari penggunaan energi terbarukan. Ini membantu dalam membuat keputusan investasi yang bijak untuk mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang.

Perbandingan Aplikasi dan Pemilihan Aplikasi yang Tepat

1. Perbandingan aplikasi perhitungan energi gudang.

Aplikasi	Keunggulan	Kelemahan	Kesesuaian Pengguna
<i>Energy plus</i>	Simulasi sangat mendalam, dukungan energi terbarukan	Kurva pembelajaran yang curam	Insinyur dan arsitek yang membutuhkan analisis mendalam
TRNSYS	Modular dan fleksibel, cocok untuk sistem kompleks	Memerlukan lisensi berbayar, pembelajaran rumit	Pengguna yang membutuhkan fleksibilitas tinggi dalam simulasi
IES VE	Analisis multi-aspek, mendukung sertifikasi bangunan gedung hijau	Memerlukan perangkat keras kuat, lisensi mahal	Arsitek dan insinyur bangunan gedung hijau yang membutuhkan analisis komprehensif
Open Studi	Sumber terbuka, antarmuka grafis yang ramah pengguna	Fitur terbatas dibandingkan perangkat lunak berbayar	Pengguna yang menginginkan solusi <i>open-source</i> dengan kemudahan penggunaan

2. Perbandingan aplikasi perhitungan pencahayaan gudang.

Aplikasi	Keunggulan	Kelemahan	Kesesuaian Pengguna
Dialux	Simulasi 3D yang akurat, perhitungan energi, mendukung berbagai jenis lampu	Kurva pembelajaran, membutuhkan perangkat keras kuat	Desainer pencahayaan, insinyur, arsitek
Relux	Visualisasi foto-realistik, mudah digunakan, analisis pencahayaan alami dan buatan	Versi gratis terbatas, waktu pemrosesan lama pada proyek besar	Profesional desain pencahayaan, insinyur
LDT	Sederhana, cocok untuk analisis data lampu dasar, gratis	Tidak ada visualisasi canggih, fitur terbatas	Pengguna yang membutuhkan perhitungan pencahayaan dasar

3. Aplikasi untuk perhitungan penggunaan energi terbarukan.

Aplikasi	Keunggulan	Kelemahan	Kesesuaian Pengguna
HO-MER	a. Cocok untuk proyek skala besar maupun kecil. b. Memberikan rekomendasi optimasi energi berdasarkan aspek ekonomi dan teknis. c. Digunakan secara luas dalam industri dan penelitian akademik.	a. Memerlukan pemahaman teknis dalam konfigurasi sistem energi b. Lisensi berbayar untuk fitur penuh.	a. Akademisi dan peneliti. b. Konsultan dan pengembang proyek. c. Pemerintah dan pembuat kebijakan. a. Industri dan perusahaan.

Berdasarkan perbandingan tersebut, pemilihan aplikasi yang tepat bergantung pada kebutuhan spesifik proyek, tingkat keahlian pengguna, serta kompleksitas analisis yang diinginkan. Beberapa faktor utama yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Kompleksitas dan skala proyek.

Proyek dengan kebutuhan analisis energi yang sangat mendalam memerlukan perangkat lunak dengan simulasi terperinci. *Energy plus* dan IES VE menjadi pilihan utama bagi insinyur dan arsitek yang membutuhkan hasil akurat dalam evaluasi energi bangunan.

Jika fleksibilitas tinggi dalam simulasi sistem energi menjadi prioritas, TRNSYS lebih cocok untuk proyek yang melibatkan sistem energi kompleks. Di sisi lain, proyek berskala lebih kecil atau yang memerlukan solusi berbasis sumber terbuka dapat menggunakan OpenStudio yang tetap menawarkan fitur analisis tanpa biaya lisensi.

2. Kemudahan penggunaan dan aksesibilitas.

Bagi pengguna yang mengutamakan antarmuka grafis yang ramah dan visualisasi yang menarik, aplikasi seperti Dialux dan Relux lebih disarankan. Keduanya menawarkan simulasi pencahayaan dengan visualisasi fotorealistik dan analisis pencahayaan alami maupun buatan.

Untuk kebutuhan perhitungan pencahayaan dasar tanpa fitur visualisasi kompleks, LDT menjadi pilihan yang lebih sederhana dan efisien. Sementara itu, HOMER menawarkan solusi komprehensif dalam perencanaan energi terbarukan, meskipun tetap memerlukan pemahaman teknis dalam konfigurasi sistemnya.

3. Biaya dan ketersediaan lisensi.

Biaya sering menjadi faktor utama dalam pemilihan perangkat lunak. Bagi yang membutuhkan solusi gratis, OpenStudio dan LDT merupakan opsi ekonomis yang tetap menyediakan fitur esensial. Di sisi lain, perangkat lunak premium seperti IES VE dan TRNSYS menawarkan fitur lebih canggih, tetapi dengan biaya lisensi yang lebih tinggi. HOMER juga memerlukan lisensi berbayar untuk mengakses fitur penuh, namun banyak digunakan oleh akademisi dan pengembang proyek yang memerlukan simulasi energi terbarukan secara mendalam.



4. Relevansi dengan konsep bangunan gedung hijau.

Dalam konteks bangunan gedung hijau, perangkat lunak yang mendukung efisiensi energi dan optimalisasi pencahayaan menjadi sangat penting. IES VE dan EnergyPlus sering digunakan dalam proyek yang berorientasi pada sertifikasi bangunan gedung hijau seperti LEED dan BREEAM.

Untuk perencanaan energi terbarukan, HOMER menjadi pilihan utama karena kemampuannya dalam menganalisis berbagai skenario penggunaan sumber energi terbarukan. Sementara itu, Dialux dan Relux berperan dalam optimalisasi pencahayaan guna meningkatkan efisiensi energi di dalam bangunan.

Dengan demikian, pemilihan aplikasi terbaik bergantung pada kebutuhan spesifik proyek, ketersediaan sumber daya, serta tingkat keahlian pengguna dalam mengoperasikan perangkat lunak. Untuk analisis energi bangunan secara mendalam, EnergyPlus dan IES VE lebih sesuai. Jika prioritasnya adalah perencanaan energi terbarukan, HOMER menjadi pilihan utama. Sementara untuk optimasi pencahayaan, Dialux dan Relux memberikan hasil terbaik dengan visualisasi berkualitas tinggi.



GLOSARIUM

Adopsi	Proses hukum untuk mengangkat anak orang lain menjadi anak sendiri.
Aerogel	Material padat yang sangat ringan dan berpori.
Aksesibilitas	Kemudahan untuk beraktivitas sehari-hari, termasuk untuk penyandang disabilitas.
Akurat	Teliti, cermat, saksama, dan tepat benar.
Analisis	Proses menyelidiki atau memeriksa sesuatu untuk mengetahui keadaan sebenarnya.
Asumsi	Dugaan atau keyakinan yang diterima sebagai dasar atau landasan berpikir.
Biofuel	Bahan bakar yang berasal dari bahan organik, seperti tanaman, alga, dan limbah organik.
Biomassa	Bahan organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme.
Distribusi	Kegiatan menyalurkan barang atau jasa dari produsen ke konsumen.
Ekstraksi	Teknik pemisahan zat dari campurannya dengan menggunakan pelarut.

Emisi	Pelepasan zat, gas, atau partikel ke lingkungan yang dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan.
Evaluasi	Proses untuk menilai, mengukur, atau mengamati sesuatu untuk menentukan nilai, dampak, atau efektivitasnya.
Fasad	Bagian luar suatu bangunan, biasanya yang dimaksud adalah bagian depan.
Finansial	Imbalan tambahan yang diberikan untuk memotivasi seseorang atau kelompok agar lebih produktif.
Fitur	Karakteristik khusus yang terdapat pada suatu produk, alat, atau layanan.
Fleksibel	Kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan situasi, perubahan, atau tantangan tanpa kehilangan fokus pada tujuan utama.
Fotorealistik	Gaya seni yang bertujuan untuk membuat gambar yang tampak seperti foto.
<i>Glasswool</i>	Material insulasi yang terbuat dari serat kaca yang diproses sehingga bertekstur seperti bulu domba.
Identifikasi	Proses untuk menetapkan atau menentukan identitas seseorang, benda, atau hal lainnya.
Impedansi	Besaran yang menunjukkan perlawanan terhadap arus listrik bolak-balik (AC) atau searah.
Implementasi	Tindakan atau pelaksanaan dari sebuah rencana yang telah disusun dengan matang.
Insentif	Imbalan tambahan yang diberikan untuk memotivasi seseorang atau kelompok agar lebih produktif.

Insulasi	Proses atau bahan yang digunakan untuk mencegah perpindahan panas, suara, listrik, dan sebagainya.
Integrasi	Proses penyatuan atau pembauran beberapa unsur atau elemen menjadi satu kesatuan yang utuh.
Intensitas	Ukuran atau tingkat kekuatan, keras, atau hebat dari sesuatu.
Intensitasi	Ukuran atau tingkat kekuatan, keras, atau hebat dari sesuatu.
Investasi	Kegiatan menanamkan modal dalam jangka waktu tertentu untuk mendapatkan keuntungan.
Isolasi	Pemisahan atau pengasingan suatu hal dari hal lain.
Kolektor	Bertanggung jawab untuk menghubungi individu atau perusahaan yang memiliki pinjaman jatuh tempo yang belum dibayar untuk menegosiasikan pembayaran atau penyelesaian hutang tersebut.
Komersial	Segala sesuatu yang berkaitan dengan perdagangan atau perniagaan dan bertujuan untuk mendapatkan keuntungan.
Kompleks	Suatu kesatuan yang terdiri dari beberapa bagian yang saling berhubungan dan saling tergantung.
Konfigurasi	Istilah yang merujuk pada bentuk, wujud, atau susunan dari sesuatu.
Konservasi	Upaya untuk menjaga dan melindungi alam, sumber daya alam, dan lingkungan secara bijaksana.
Konstruksi	Proses pembangunan atau pembuatan suatu bangunan.

Kontribusi	Tindakan memberikan sumbangan atau ikut andil dalam suatu kegiatan.
Konvensional	Kesepakatan umum yang dilakukan secara turun-temurun, seperti adat, kebiasaan, dan kelaziman.
Konvensional	Kesepakatan umum yang telah diterima dan diwariskan secara turun-temurun.
Kurva	Objek yang mirip dengan garis yang tidak harus lurus.
Lisensi	Izin atau surat resmi yang diberikan kepada seseorang untuk melakukan sesuatu dalam jangka waktu tertentu.
Makro	Sesuatu yang sangat besar dalam skala, cakupan, atau kemampuan.
Manufaktur	Proses mengubah bahan mentah menjadi produk jadi dengan menggunakan mesin, tenaga kerja, dan proses produksi terstruktur.
Mikro	Sesuatu kecil, tipis, sempit, atau berkaitan dengan jumlah yang sedikit.
Modular	Sesuatu yang dibangun atau diatur dalam unit atau bagian yang berdiri sendiri.
Netralitas	Kecenderungan untuk tidak memihak dalam suatu konflik, yang mungkin tidak menunjukkan bahwa pihak-pihak yang netral tidak berpihak.
Operasional	Berhubungan dengan operasi atau pelaksanaan suatu tugas atau proses tertentu.
Operasional	Berhubungan dengan operasi atau pelaksanaan suatu tugas atau proses tertentu.
Optimasi	Memaksimalkan atau mengoptimalkan sesuatu hal yang bertujuan untuk mengelola sesuatu yang dikerjakan.

Optimasi	Memaksimalkan atau mengoptimalkan sesuatu hal yang bertujuan untuk mengelola sesuatu yang dikerjakan.
Orientasi	Sikap, perilaku, atau proses pengenalan terhadap lingkungan baru.
Parameter	Karakteristik yang dapat membantu mendefinisikan atau mengklasifikasikan suatu hal.
<i>Polyurethane foam</i>	Busa plastik yang terbuat dari polimer dan urethane.
Produktif	Kemampuan untuk menghasilkan sesuatu dalam jumlah besar atau maksimal.
Profitabilitas	Kemampuan perusahaan untuk menghasilkan laba dengan menggunakan modal yang dimiliki.
Reflektif	Sifat atau proses berpikir yang melibatkan pengamatan, perenungan, dan evaluasi terhadap suatu hal.
Regulasi	Seperangkat aturan atau kebijakan yang dibuat untuk mengontrol atau mengatur tindakan atau perilaku seseorang, kelompok, atau organisasi dalam suatu bidang tertentu.
Regulasi	Peraturan tertulis yang dibuat oleh lembaga negara atau pejabat yang berwenang.
Rekomendasi	Saran atau anjuran yang diberikan kepada seseorang atau badan.
<i>Rockwool</i>	Bahan serbaguna yang terbuat dari batuan yang dipanaskan hingga meleleh dan dipintal menjadi serat.
Sensor	Alat yang mendeteksi perubahan lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.
Signifikan	Kata sifat yang berarti penting, berarti, atau bermakna khusus.

Simulasi	Proses meniru atau merepresentasikan perilaku suatu sistem nyata.
Sirkular	Praktik yang bertujuan untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalkan pemborosan.
Spesifik	Sesuatu yang terperinci, jelas, atau terfokus pada suatu hal tertentu.
Subsidi	Bantuan keuangan yang diberikan kepada individu, perusahaan, atau organisasi untuk mendukung kegiatan ekonomi atau tujuan sosial.
Topografi	Ilmu yang mempelajari bentuk permukaan bumi dan objek lain, seperti planet, bulan, atau asteroid.
Vegetasi	Kumpulan tumbuhan yang hidup bersama-sama di suatu tempat.
Verifikasi	Proses membandingkan dua hal atau lebih untuk memastikan kebenaran informasi.
Visualisasi	Proses mengubah data menjadi gambar, diagram, atau animasi untuk mempermudah pemahaman.



DAFTAR PUSTAKA

- Abilawa, Mahendra, dan Muzakar Isa. “Pengaruh Kesadaran Publik, Kesadaran Merek, dan Kualitas Persepsian terhadap Minat Beli Kendaraan Hemat Energi dengan Kepercayaan Merek sebagai Variabel Intervening.” *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP)*, 7(3): 11774—11784. 2024.
- Adrian, Muhammad Adi. “Analisis Pengaruh Aktivitas Ekonomi terhadap Peningkatan Emisi Karbon: Studi Empiris Empat Negara ASEAN.” *Jurnal Ekonomi Indonesia*, 12(2): 187—202. 2023.
- Akhmad dkk. 2024. *Inovasi dalam Manajemen Pendidikan Tinggi: Membangun Masa Depan yang Berkelanjutan*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ariaga, Fahriza Raka, Fajar Yumono, dan Salma Ilmawati. “Analisa Ekonomi Simulasi on Grid Wind Turbine Berbasis Software Homer.” *SinarFe7*, 6(1): 135—140. 2024.
- Arifin, Zainal dkk. 2023. *Green Technology: Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Bidang*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- A’yun, Qurrotul dan Septia Heryanti. “Integrasi Sistem Fotovoltaik dalam Rancangan Bangunan Bertingkat Rendah Guna Meningkatkan

- Kinerja Energi.” *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 11(2): 164—178. 2024.
- Ekayuliana, Arifia dkk. “Performa Reka Ulang AC Split Sistem Geotermal Direct Exchange.” *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 2. 2023.
- Fandeli, Chafid. 2021. *Pembangunan Kota Hijau*. Yogyakarta: UGM Press.
- Ferdyson dan Jaka Windarta. “Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya sebagai Energi Terbarukan di Indonesia.” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 4(1): 1—6. 2023.
- Ghaasyiyah, Khansa Nur, Dedes Nur Gandarum, dan Rita Walaretina. “Implementation of Net-Zero Energy Building Concept in The Design Facade Architecture Buildings in Central Java.” *Jurnal Arsitektur Arcade*, 5(1): 69—76. 2021.
- Hidayat, Arif dan Tata Sutabri. “Inovasi Kaca Pintar: Pengaturan Pencahayaan Berbasis Sensor Panas untuk Aplikasi Smart Home.” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 3(4): 236—247. 2024.
- Hidayatulloh, Syarif. “Kajian Prinsip Arsitektur Berkelanjutan pada Bangunan Perkantoran (Studi Kasus: Menara BCA Jakarta).” *Media Matrasain*, 18(1): 89—97. 2021.
- Juroihan, Muhammad dkk. “Integrasi Cloud Computing untuk Analisis Big Data.” *Karimah Tauhid*, 3(4): 4387—4399. 2024.
- Kharisma, Lalu Puji Indra dkk. 2024. *Internet of Things: Pengenalan dan Penerapan Teknologi IoT*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Kinanti, Ayunda Febri, Muhammad Syahrul Maulana, dan Muhammad Yasin. “Analisis Pola Konsumsi di Indonesia sebagai Indikator Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat.” *Digital Bisnis: Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen dan E-Commerce*, 3(2): 19—32. 2024.
- Lendra dkk. “Studi Literatur Hambatan Sosial dan Budaya pada Penerapan Bangunan Hijau.” *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 7(2): 244—257. 2024.

- Leni, Desmarita. “Analisis Heatmap Korelasi dan Scatterplot untuk Mengidentifikasi Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pelabelan AC efisiensi Energi.” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 6(1): 41—47. 2023.
- Lestari, Devy Wahyu. 2022. *Implementasi Konsep Green Building pada Desain Bangunan Jakarta Internasional Stadium sebagai Bentuk Efisiensi*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia.
- Lidinillah, Afkar Garbiya. “Studi Penerapan Konsep Biofilik dalam Desain Bangunan.” *Jurnal Desain Lingkungan Binaan Indonesia*, 1(2): 108—118. 2024.
- Mahdi. 2024. *Mengenal Standar Sertifikasi Bangunan Hijau (Green Buildings Certification)*. Artikel Kanwil DJKN Kalimantan Timur dan Utara. Jakarta: Kementerian Keuangan Direktorat Jenderal Kekayaan Negara.
- Mahendra, Gede Surya dkk. 2024. *Green Technology: Panduan Teknologi Ramah Lingkungan*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Martaningtyas, Irma. “Analisis Komponen Biaya Konstruksi Proyek Revitalisasi Terminal Tipe A Arjosari Malang dengan Menerapkan Konsep Green Building.” *Journal Transformation of Mandalika*, 4(6): 3007—322. 2023.
- Mustafa, Mursyid. “Penerapan Prinsip Arsitektur Hijau pada Desain Permukiman Ramah Lingkungan di Perkotaan.” *Jurnal Cahaya Mandalika*, 5(2): 632—632. 2024.
- Nainggolan, Hotnida dkk. 2023. *Green Technology Innovation: Transformasi Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Sektor*. Jambi: PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Nasution, Ari Putra. “Revolusi Kecerdasan Buatan: Dampaknya pada Desain Bangunan dan Kota Masa Depan.” *WriteBox*, 1(3). 2024.
- Nugroho, Arya Dewa dkk. “Integrasi Sumber Energi Terbarukan dalam Pemanfaatan Sumber Daya Nikel di Luwu Timur.” *Journal of Electrical and System Control Engineering*, 7(1): 1—10. 2023.



- Permatasari, Nabila. "Strategi Penerapan Prinsip Arsitektur Bioklimatik pada Iklim Tropis terhadap Kenyamanan Termal dan Efisiensi Energi Bangunan." *Filosofi: Publikasi Ilmu Komunikasi, Desain, dan Seni Budaya*, 1(4): 277—300. 2024.
- Permatasari, Rini Fitriani dkk. "Kampanye Hemat Listrik terhadap Efisiensi Energi pada Ibu Rumah Tangga yang Bekerja." *Psikostudia: Jurnal Psikologi*, 7(2): 71—81. 2018.
- Pratama, Muhammad Falah Yudha dan Rini Puji Astutik. "Optimalisasi Sistem Pengendalian dalam Smart Building untuk Penghematan Energi." *JITET (Jurnal Informasi dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3): 2882—2888. 2024.
- Pratama, Wandu dan Ersi Sisdiyanto. "Analisis Penerapan Standar Akuntansi Lingkungan dalam Meningkatkan Sektor UMKM di Indonesia." *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Manajemen*, 2(12): 464—476. 2024.
- Puspitarini, Erri Wahyu dkk. 2024. *Perencanaan Pembangunan Berkelanjutan*. Batam: CV Rey Media Grafika.
- Puspitarini, Renny Candradewi dkk. "Implementasi Tujuan Sustainable Development Goals Kota dan Permukiman dengan Konsep Green Building di Kota Probolinggo." *JISIP UNJA (Jurnal Ilmu Sosial Ilmu Politik Universitas Jambi)*, 8(2): 174—187. 2024.
- Putri, Shely Pratiwi Sanjaya dan Ari Widyati Purwantiasning. "Kajian Konsep Arsitektur Modular pada Rumah Susun ITB Jatinaror." *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 8(1): 81—93. 2021.
- Putro, Arianto Dwi dan Lutfi Prayogi. "Penerapan Konsep Bangunan Pintar pada New Media Tower Universitas Multimedia Nusantara." *Journal of Architectural Design and Development (JAD)*, 2(2): 114—126. 2021.
- Retno, Deddy Purnomo dkk. "Analisis Keberlanjutan Kinerja Energi dan Air pada Perumahan Bersubsidi dengan Pendekatan Bangunan

- Hijau di Kota Pekanbaru.” *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1): 1—11. 2024.
- Rifkah. “Penggunaan Material Ramah Lingkungan pada Bangunan Hijau: Perumahan Taman Anggrek.” *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 9(2): 122—127. 2024.
- Rismayadi, Hilman. “Konsep Bangunan Hijau pada Desain Perumahan Suta Kasa Tangerang.” *Jurnal Desain Lingkungan Binaan Indonesia*, 1(2): 100—107. 2024.
- Riyanto, Edy dan Budi Purnomo. “Eksistensi Barang Milik Negara Berupa Gedung Perkantoran di Kawasan Komersial: Studi kasus di Kawasan CBD Sudirman-Thamrin Jakarta.” *Jurnal Pajak dan Keuangan Negara (PKN)*, 1(1): 20. 2019.
- Rizki, Rabudin. “Pengaruh Efisiensi Energi dan Air pada Bangunan dalam Penerapan Eco-Green.” *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 19(2): 120—128. 2022.
- Septiana, Berlian dkk. “Pengaruh Eksploitasi Sumber Daya Alam terhadap Pertumbuhan Ekonomi: Pendekatan Ekonomi Sirkular.” *Indonesian Journal of Economy and Education Economy*, 2(1): 313—326. 2024.
- Septyasiani, Nurvita dan Cherly Novia Bramiana. “Kualitas Pencahayaan Buatan Ruang Ibadah Berbasis Perangkat Lunak Relux.” *Jurnal Ilmiah Arsitektur*, 14(1): 66—74. 2024.
- Sezer, Nurettin dkk. “Urban Microclimate and Building Energy Models: A Review of The Latest Progress in Coupling Strategies.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 184: 113577. 2023.
- Sholeh, Moh Nur. 2023. *Manajemen Risiko Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Universitas Diponegoro.
- Sianipar, Elizabeth Dwi Putri, dan Reinaldi Primanizar. “Konsep Lokalitas Bali pada Desain Arsitektur Green School Bali.” *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 8(02): 287—302. 2024.



- Sisdianto, Ersi. “Peran Green Accounting dalam Meningkatkan Efisiensi Energi dan Pengelolaan Limbah.” *Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara*, 1(5): 8697—8707. 2024.
- Tanoto, Yusak. 2023. *Pengelolaan Energi Berkelanjutan di Hotel*. Yogyakarta: Zahir Publishing.
- Tawakkal, Iqbal, Muh Arsyad, dan Abdul Hafid. “Rancang Bangun Prototype Smart Home System Menggunakan Konsep Berbasis Internet of Things (IOT).” *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(2): 274—284. 2024.
- Tolle, Herman dan Fais Al Huda. 2023. *Teknologi Digital Immersive: Pemanfaatan untuk Kemajuan Bangsa*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Utami, Sentagi Sesotya dkk. 2018. *Menelusur Jejak Implementasi Konsep Bangunan Hijau dan Pintar di Kampus Biru*. Yogyakarta: UGM Press.
- Utami, Sentagi Sesotya. 2021. *Menuju Bangunan Zero Energy di Indonesia*. Yogyakarta: UGM Press.
- Valerie. 2023. *Sertifikasi Bangunan Gedung Hijau, Gedung Perkantoran dan Pusat Pelatihan, di Plered, Purwakarta*. Jakarta: Universitas Agung Podomoro.
- Wibowo, Kunto. “Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon.” *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4(6): 5140—5153. 2024.
- Winandari, Maria Immaculata Ririk, Viviana Khoerunnisa Baharessa, dan Sri Tundono. “Penerapan Strategi Desain Pasif di Bangunan Pusat Kreatif.” *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 7(2): 173—188. 2023.
- Wiraguna, Sidi Ahyar dan L. M. F. Purwanto. “Integrasi Teknologi Digital Sensor dan Mekanik pada Fasad Bangunan Perkantoran.” *Journal of Architectural Design and Development (JAD)*, 5(1): 39—49. 2024.

Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. 2023. *Buku Informasi: Melakukan Tinjauan Ulang Perhitungan Efisiensi Energi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI.







PROFIL PENULIS



Ferry Firmawan, S.T., M.T., Ph.D. adalah seorang akademisi dan praktisi di bidang Teknik Sipil dengan spesialisasi pada Manajemen Konstruksi. Saat ini, penulis menjabat sebagai Chairperson of Engineering Institute for Research and Development (EIREAD). Tidak hanya itu, penulis juga terlibat sebagai Tim Perumus SKKNI, Permenaker No 2 Tahun 2023

Sektor Jasa Konstruksi Bidang Bangunan Hijau yang berkontribusi langsung dalam pengembangan standar kompetensi nasional untuk Ahli Bangunan Gedung Hijau dan Ahli Penilai Bangunan Hijau.

Selain itu, penulis bertanggung jawab sebagai Ketua Tim Penyusun Modul/Materi Pelatihan Bangunan Hijau yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas para praktisi di sektor konstruksi dalam memahami dan menerapkan konsep bangunan berkelanjutan khususnya bangunan gedung hijau (BGH).

Penulis menyelesaikan studi PhD di University Teknologi Malaysia pada Tahun 2016 dengan judul disertasi *The Development of Green Construction Site Index* yang fokus pada pengembangan sebuah alat ukur kuantitatif untuk mengukur kinerja proyek konstruksi di Indonesia dengan membandingkan dengan parameter sejenis dari berbagai negara.

Sebelumnya, penulis meraih gelar Magister Teknik dari Universitas Indonesia dengan tesis yang berjudul *Rekomendasi Tindakan Koreksi pada Pengendalian Biaya Material Dengan Metode Hybrid Probabilistic Neural Networks* dan gelar Sarjana Teknik dari Universitas Diponegoro pada Tahun 2000. Kombinasi pendidikan yang dimilikinya memberikan penulis pemahaman mendalam tentang tantangan dan peluang dalam dunia konstruksi modern.

Sebagai seorang peneliti, penulis aktif terlibat dalam berbagai proyek ilmiah, baik nasional maupun internasional. Salah satu penelitiannya mencakup pengembangan parameter keberlanjutan untuk gedung tinggi dan infrastruktur hijau. Hal ini dibuktikan melalui publikasinya dalam wawasan baru tentang implementasi konsep bangunan hijau, termasuk perbandingan antara standar nasional dan internasional dalam desain gedung berkelanjutan. Penulis juga menjadi ketua beberapa penelitian hibah kompetitif yang berfokus pada efisiensi energi dan konstruksi berkelanjutan.

Selain berkiprah di dunia akademik, penulis juga aktif dalam berbagai organisasi profesional dan sosial. Ia menjabat sebagai Wakil Ketua Umum Asosiasi SDM Konstruksi Indonesia (ASDAMKINDO) Jawa Tengah serta Wakil Ketua Umum KADIN Jawa Tengah bidang lingkungan hidup. Penulis berperan aktif dalam program ECO KADIN yang mendorong praktik bisnis rendah karbon di Jawa Tengah, termasuk edukasi dan pendampingan bagi pengusaha untuk menerapkan sistem usaha ramah lingkungan. Program ini mendukung pengurangan emisi gas rumah kaca dan peningkatan daya saing dunia usaha melalui ekonomi berkelanjutan.

Kontribusi penulis di sektor ini semakin nyata melalui peran strategisnya di Badan Perlindungan Konsumen Nasional sebagai Wakil Ketua Komisi Komunikasi dan Edukasi dan menjadi Anggota Dewan Pengupahan Provinsi Jawa Tengah, dimana ia terlibat dalam pengembangan kebijakan untuk mendukung pertumbuhan industri konstruksi yang berorientasi pada keberlanjutan.

Melalui kapasitasnya sebagai seorang praktisi, penulis berkomitmen untuk mencetak generasi insinyur yang tidak hanya kompeten secara teknis, tetapi juga memiliki kesadaran tinggi terhadap prinsip konstruksi keberlanjutan khususnya mengenai efisiensi energi. Hal ini diwujudkan melalui keterlibatannya sebagai narasumber dalam berbagai pelatihan dan *workshop*, baik untuk mahasiswa maupun praktisi. Di tingkat komunitas, penulis memimpin berbagai pengabdian masyarakat, seperti pelatihan mitigasi bencana dan cara pengelolaan limbah konstruksi.

Dengan mengandalkan pengalaman sebagai seorang akademisi, praktisi, dan penyusun regulasi, penulis akan terus berperan sebagai pionir dalam mendukung transformasi industri konstruksi menuju keberlanjutan. Semangatnya untuk berbagi ilmu dan inovasi menjadikan dirinya inspirasi bagi rekan sejawat dan mahasiswa di Indonesia maupun di tingkat internasional



Prof. Dr. Eng. Usep Surahman, S.T., M.T. adalah seorang akademisi dan peneliti terkemuka di bidang Teknik Arsitektur dengan kepakaran di bidang Teknologi dan Arsitektur Hemat Energi. Penulis memiliki pengalaman luas dalam penelitian dan pengajaran. Penulis memperoleh gelar S-3 dari Hiroshima University dengan fokus pada studi *life cycle assessment of energy and CO2 emissions of residential buildings in major cities of Indonesia*, setelah sebelumnya menyelesaikan pendidikan Magister Teknik dan Sarjana Teknik di bidang Arsitektur Perumahan dan Permukiman dari Institut Teknologi Bandung (ITB).

Saat ini, penulis menjabat sebagai profesor di Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) serta aktif sebagai peneliti senior di Laboratorium Artificial Intelligent, Building and Urban Environmental Science. Penulis terlibat dalam berbagai proyek penelitian dan pengembangan teknologi arsitektur hemat energi, seperti smart buildings dan *artificial intelligent for architecture*.

Sebagai seorang akademisi, penulis telah berkontribusi dalam berbagai publikasi ilmiah yang diterbitkan di jurnal-jurnal bereputasi Q1, seperti *Energy and Buildings*, *Building and Environment*, *Architectural Science Review* dll, serta dipresentasikan dalam konferensi internasional. Penelitiannya berfokus pada teknologi dan arsitektur hemat energi dengan beberapa karya yang telah memberikan dampak signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Selain itu, penulis juga aktif dalam membimbing mahasiswa, baik di tingkat sarjana maupun pascasarjana, serta berperan aktif sebagai pembicara dalam berbagai seminar dan *workshop* akademik dan *reviewer* jurnal bereputasi terkemuka Q1, seperti *Journal of Building Engineering*, *Journal of Cleaner Production*, *Resources, Conservation & Recycling*, *Construction and Building Materials*, dll.

Keahlian dan dedikasinya telah diakui melalui berbagai penghargaan bergengsi yang beliau terima sepanjang kariernya. Penulis juga tergabung dalam asosiasi keahlian seperti Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan

Indonesia (IPLBI), Ikatan Arsitek Indonesia (IAI), International Life Cycle Assessment Network (ILCAN), dll. Dengan komitmennya terhadap inovasi dan pengembangan ilmu pengetahuan, penulis akan terus berupaya memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia akademik dan industri.

Penulis dapat dihubungi melalui email di usep@upi.edu atau di Prodi Arsitektur Program Sarjana dan Magister, Fakultas Pendidikan, Teknik dan Industri (FPTI) Universitas Pendidikan Indonesia (UPI), Bandung.



Fahrudin Ahmad, S.Si., M.Si. lahir di Pati pada 16 Desember 1986. Penulis menunjukkan minat besar pada sains sejak usia muda sehingga mendorongnya untuk menempuh pendidikan tinggi di bidang fisika. Setelah menyelesaikan pendidikan dasar dan menengah, penulis melanjutkan studi S-1 di Universitas Sebelas Maret Surakarta pada program studi Fisika.

Selama masa kuliahnya, penulis dikenal sebagai mahasiswa yang tekun dan memiliki kemampuan analisis yang tajam, khususnya dalam memahami konsep-konsep fisika modern. Pada tahun 2011, penulis berhasil meraih gelar sarjana dengan prestasi yang membanggakan.

Kesungguhan penulis dalam dunia akademik tidak berhenti di jenjang S-1. Pada tahun yang sama, penulis memutuskan melanjutkan studi S-2 di bidang Ilmu Fisika. Penulis memilih fokus pada penelitian noise dan material absorber, yaitu dua bidang yang memiliki relevansi tinggi dalam industri teknologi modern. Penelitian yang dilakukan selama masa studi S-2 memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi akustik dan material peredam suara. Pada tahun 2014, penulis berhasil menyelesaikan pendidikan magisternya dengan hasil yang memuaskan.

Karier penulis sebagai pendidik dimulai pada tahun 2017 ketika bergabung sebagai dosen di Program Studi Teknik Elektro Universitas Semarang. Sebagai seorang akademisi, penulis menunjukkan dedikasi yang luar biasa dalam mengajar. Penulis dipercaya mengampu mata kuliah inti seperti Medan Elektromagnetik dan Fisika Listrik yang merupakan dasar penting dalam bidang teknik elektro.

Tidak hanya terbatas pada bidang keilmuan yang sudah dikuasainya, penulis juga memiliki minat besar pada teknologi kendaraan listrik. Dalam beberapa tahun terakhir, penulis memfokuskan penelitiannya pada pengembangan Go Car listrik dan sepeda motor listrik. Proyek ini dilakukan di Laboratorium *workshop* Teknik Elektro Universitas Semarang. Riset ini merupakan salah satu upaya penulis untuk mendukung pengembangan teknologi berkelanjutan dan mengurangi dampak emisi karbon.

Selain itu, penulis juga aktif berkolaborasi dengan rekan-rekan dosen dan mahasiswa dalam mengembangkan proyek proyek berbasis inovasi. Hal ini mencerminkan komitmennya untuk menciptakan lingkungan akademik yang produktif dan mendukung terciptanya generasi penerus yang kompeten di bidang teknik elektro. Penulis percaya bahwa pendidikan tinggi bukan hanya tentang memberikan ilmu pengetahuan, tetapi juga tentang menanamkan semangat inovasi dan keberlanjutan kepada mahasiswa.

Penulis tidak pernah berhenti belajar dan mengembangkan diri. Hal ini dibuktikan dengan sering menghadiri seminar, konferensi, dan *workshop*, baik lokal maupun nasional. Dedikasi dan kerja kerasnya menjadikan penulis sebagai salah satu dosen yang dihormati dan dikagumi oleh kolega serta mahasiswa di Universitas Semarang.

Melalui berbagai aktivitasnya, penulis akan terus memberikan kontribusi nyata dalam dunia pendidikan dan teknologi. Dengan kombinasi pengetahuan yang mendalam, pengalaman riset yang luas, dan semangat inovasi yang tinggi, penulis tidak hanya menjadi inspirasi bagi mahasiswa, tetapi juga bagi masyarakat luas. Perjalanannya sebagai akademisi mencerminkan komitmen terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berdampak positif bagi lingkungan dan masyarakat.



Lala Anggraini, S.T., M.T. adalah seorang *junior researcher* di bidang teknik sipil yang memiliki latar belakang pendidikan Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Semarang (USM) dan Magister Manajemen Proyek Konstruksi dari Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis telah berkontribusi pada berbagai penelitian strategis yang bertujuan memberikan solusi inovatif dalam pembangunan infrastruktur yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Perjalanan karier penelitiannya dimulai sebagai *research assistant* dalam penelitian berjudul *Evaluasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan pada Pembangunan Menara USM Berbasis Green Construction Site Index (GCSI)*. Penelitian ini berfokus pada evaluasi pelaksanaan konstruksi yang memperhatikan aspek lingkungan berdasarkan keterlibatan dan peran para pemangku kepentingan. Melalui penelitian ini, penulis turut memetakan kendala dan peluang dalam implementasi praktik konstruksi hijau.

Selain itu, penulis juga berkontribusi dalam penelitian dengan pendanaan tingkat nasional yang mengangkat topik integrasi pemangku kepentingan dalam ekonomi sirkular konstruksi. Penelitian yang berjudul *Integrasi Pemangku Kepentingan pada Ekonomi Sirkular Konstruksi untuk Menjamin Konstruksi Terhubung yang Efisien* ini memberikan pendekatan keberlanjutan dalam menyatukan berbagai pihak terkait untuk menciptakan efisiensi sumber daya melalui penerapan prinsip ekonomi sirkular. Hasil penelitian ini menjadi rekomendasi strategis bagi para pemangku kepentingan dalam mengoptimalkan efisiensi sumber daya dan keberlanjutan.

Penulis melakukan penelitian mendalam tentang struktur modal untuk investasi jalan tol dengan fokus pada alternatif pembiayaan yang berkelanjutan. Penelitian ini tidak hanya memberikan perspektif baru kepada pengambil keputusan dalam menyelesaikan kendala pembiayaan proyek infrastruktur, tetapi juga mendorong adopsi metode pembiayaan berkelanjutan, seperti *project-based sukuk*.

Selain kontribusi akademiknya, penulis juga tergabung dalam forum keprofesian. Penulis terdaftar sebagai sekretaris Dewan Pengurus Daerah Asosiasi Sumber Daya Manusia Kontraktor Indonesia, (DPD ASDAMKINDO) Jawa Tengah untuk periode 2024—2029. Tidak hanya itu, dalam rangka upaya menjaga tradisi keilmuan dengan mendirikan Civil Network Indonesia, yaitu sebuah platform pembelajaran digital yang bertujuan memberikan akses pengetahuan teknik sipil secara luas.



Fadhila Khoirunissa Ramadhanny, S.T. adalah lulusan Teknik Sipil Universitas Semarang tahun 2023. Selama masa studinya, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi, kepanitiaan, kelompok studi keberlanjutan, dan penelitian yang mendukung pengembangan keilmuannya di bidang teknik sipil.

Salah satu bentuk aktifitas selama di kelompok studi berkelanjutan ini ditunjukkan melalui partisipasinya pada penelitian dosen tentang konstruksi berkelanjutan, seperti dalam penelitian “Penilaian Implementasi Konstruksi Berkelanjutan pada Proyek Gedung Bertingkat di Kota Semarang Menggunakan Green Construction Site Index (GCSI)”. Dalam penelitian ini dilakukan penilaian *green building* untuk proyek gedung bertingkat kategori residential maupun nonresidential yang bersifat komersial maupun nonkomersial di Kota Semarang pada tahap pelaksanaan konstruksi.

Minatnya tentang konstruksi berkelanjutan terus ditunjukkan dengan melakukan penelitian tugas akhir yang berjudul “*Analisis Implementasi Penilaian Green Highway pada Proyek Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2*”. Penelitian ini merupakan pembuatan alat ukur untuk jalan tol hijau di Indonesia dengan penilaian dari tahap perencanaan hingga tahap operasional. Melalui penelitian ini, penulis melakukan sintesis mendalam terhadap berbagai alat penilaian jalan tol hijau di Indonesia.

Tidak berhenti ketika lulus, penulis menjadi *research assistant* untuk berbagai kolaborasi penelitian berbagai proyek inovatif yang berfokus pada manajemen konstruksi dan pembangunan ramah lingkungan. Salah satu pengalamannya dalam penelitian kolaboratif antara Universitas Semarang dengan Universiti Teknologi Malaysia yang berjudul *Strategic Approaches and Critical Success Factors for Overcoming Barriers in Knowledge Integration to Achieve Sustainable Green Toll Road Infrastructure*. Karya ini menganalisis hambatan dari penerapan kebijakan jalan tol hijau di Indonesia.

Penulis juga turut tergabung dalam berbagai organisasi sejak masa studi. Penulis bertanggung jawab sebagai Koordinator Departemen Komunikasi

dan Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Semarang (HMJ TS USM). Aktivitas organisasinya tidak hanya terbatas pada lingkup kampus, penulis juga menjabat sebagai ketua bidang humas dan sistem informasi di DPD ASDAMKINDO Jawa Tengah.

Penulis tergabung dalam *civil network*, yaitu sebuah platform pembelajaran digital di bidang teknik sipil. *Civil network* menyelenggarakan program, seperti seminar and workshop activities, exclusive discussion, dan professional network untuk menghubungkan mahasiswa, akademisi, dan praktisi.



Aimmatul Husna, S.T. adalah lulusan S1 Teknik Sipil Universitas Semarang yang saat ini merupakan Laboran di Laboratorium Bahan Bangunan dan Struktur Universitas Semarang. Penulis memiliki dedikasi tinggi terhadap penelitian dan pengembangan material konstruksi ramah lingkungan. Semasa studi S-1, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil (HMJTS) Universitas Semarang, di mana penulis menjabat sebagai Koordinator Departemen dalam Negeri.

Dalam peran ini, penulis berhasil menginisiasi berbagai program kerja yang bertujuan untuk mempererat hubungan antara mahasiswa teknik sipil dengan dunia riset dan tradisi keilmuan akademik. Selain itu, penulis juga berkontribusi sebagai Asisten Laboratorium di Laboratorium Fisika, serta mendampingi kegiatan praktikum mahasiswa dengan fokus pada pengujian dasar fisika teknik. Pengalaman ini yang mengantarkannya sebagai *research junior* dalam tim riset gabungan antara Universitas Semarang dengan Universiti Teknologi Malaysia yang berjudul *Performance Optimization of Acoustic Concrete A Mixture of Coconut Fiber and Styrofoam*.

Di penghujung masa studinya, penulis meluncurkan sebuah digital *learning platform* inovatif di bidang teknik sipil yang bernama *civil network*, di mana ia menjabat sebagai Chief Financial Officer (CFO). *Civil network* adalah sebuah platform pembelajaran daring yang dirancang untuk mempermudah akses mahasiswa dan praktisi terhadap sumber belajar teknik sipil berkualitas, seperti modul interaktif, video pembelajaran, dan forum diskusi.

Semasa studi, penulis juga aktif berkompetisi dalam penulisan ilmiah di tingkat nasional. Salah satunya adalah lomba karya tulis ilmiah tingkat nasional (LKTIN) Build year Universitas Sebelas Maret (UNS) Tahun 2019. Kompetisi ini menjadi pengalaman penting yang mendukung kemampuannya dalam riset dan pengembangan teknologi konstruksi.

Saat ini, penulis berfokus pada pengembangan material ramah lingkungan dengan penekanan khusus pada inovasi bahan konstruksi yang

mendukung prinsip keberlanjutan. Proyek riset utamanya adalah *development of soundproof lightweight concrete*, yaitu beton ramah lingkungan dengan kemampuan kedap suara yang tinggi. Beton ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan konstruksi berkelanjutan sekaligus memberikan solusi insulasi suara yang optimal sehingga sangat cocok digunakan di kawasan perkotaan dengan tingkat kebisingan tinggi.

Sebagai bagian dari kontribusi akademik dan profesionalnya, penulis telah berpartisipasi dalam sejumlah penelitian dan proyek internasional, serta menghasilkan publikasi ilmiah yang relevan. Penulis berkomitmen untuk terus berinovasi dan mendukung transformasi industri konstruksi menuju praktik yang lebih berkelanjutan dengan kombinasi antara kompetensi teknis, pengalaman organisasi, dan visi terhadap pendidikan.



[illegible]



Efisiensi Energi *pada* **BANGUNAN GEDUNG HIJAU**

Panduan Perhitungan dan Implementasi

Buku ini hadir sebagai referensi komprehensif bagi praktisi, akademisi, mahasiswa, maupun pengambil kebijakan yang ingin memahami dan menerapkan prinsip efisiensi energi dalam konteks pembangunan gedung ramah lingkungan. Di tengah meningkatnya krisis energi global dan kesadaran akan perubahan iklim, efisiensi energi menjadi salah satu pilar utama dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan, terutama pada sektor bangunan yang dikenal sebagai salah satu penyumbang konsumsi energi terbesar di dunia.

Buku ini menyajikan pendekatan praktis dan sistematis dalam memahami konsep efisiensi energi, khususnya dalam konteks bangunan hijau. Pembaca akan diajak untuk memahami prinsip-prinsip dasar efisiensi energi, berbagai standar nasional dan internasional seperti SNI, LEED, dan EDGE, serta regulasi yang berlaku di Indonesia.

Di dalam buku ini memuat materi-materi berikut.

- Konsep dan Urgensi Efisiensi Energi pada Bangunan
- Prinsip dan Standar Bangunan Gedung Hijau (*Green Building*)
- Efisiensi Energi dan Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Bangunan Gedung Hijau
- Perhitungan Efisiensi Energi
- Strategi Meningkatkan Efisiensi Energi dalam Bangunan Gedung Hijau
- Penerapan Prinsip Bangunan Gedung Hijau
- Tantangan dan Solusi Implementasi Efisiensi Energi
- Transformasi Bangunan Gedung Hijau
- *Best Practice* Penghematan Energi pada Gedung BUMN, Pemerintahan, dan Kampus
- Aplikasi Perhitungan Energi, Pencahayaan, dan Energi Terbarukan pada Bangunan