

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hakikat Energi pada Bangunan

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja atau usaha. Usaha merupakan kemampuan untuk menyebabkan perubahan. Energi merupakan besaran yang kekal, artinya energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat berubah bentuk dari satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain. Ini yang disebut dengan hukum kekekalan energi.

Di alam terdapat dua macam tipe energi, yaitu energi yang tersimpan atau energi potensial dan energi yang bergerak atau energi kinetik (*Prasetya, 2010*). Energi dapat ditemukan dalam beragam bentuk, yaitu energi kimia, energi listrik, energi cahaya, energi panas, energi mekanik, energi radiasi dan energi nuklir. Terjadinya macam-macam bentuk energi mengacu pada hukum kekekalan energi.

Konsumsi energi adalah jumlah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Konsumsi energi pada bangunan gedung terkait beberapa hal, antara lain:

1. Energi termal yang dikeluarkan untuk mengkondisikan suhu dalam bangunan.
2. Energi mekanik yang dikeluarkan untuk menjalankan utilitas bangunan.
3. Energi cahaya yang digunakan untuk menciptakan pencahayaan buatan.

Bentuk energi tersebut dilakukan untuk mendukung berjalannya sistem dalam bangunan, yaitu lain sistem tata udara, sistem tata cahaya, peralatan pendukung, proses produksi, dan/atau peralatan pemanfaat energi utama.

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling luwes karena dengan mudah dapat mengkonversi sumber energi lain untuk diaplikasikan pada sebagian besar alat-alat yang diciptakan pada masa kini. Energi listrik menjadi bentuk energi akhir untuk melakukan kerja atau usaha, maka dari itu energi listrik juga menjadi bentuk energi akhir pada sistem bangunan.

Listrik timbul karena adanya aliran elektron yang timbul apabila sebuah atom kehilangan muatannya. Hal tersebut terjadi jika keseimbangan gaya elektron dan proton suatu atom terganggu oleh gaya dari luar sehingga mengakibatkan elektron bergerak bebas sepanjang konduktor. Pergerakan atau loncatan-loncatan elektron inilah yang kemudian menimbulkan arus listrik.

Energi listrik dilambangkan dengan watt (W). Watt juga merupakan satuan daya, yaitu besarnya energi yang dikeluarkan dalam setiap detiknya (joule/detik). Mengacu penggunaannya pada bangunan gedung, energi listrik dikonversikan menjadi kilo-watt-jam atau kWh (kilo watt hour). Satu watt hour setara dengan 3600 joule. Sehingga untuk setiap kWh yang dikonsumsi sebuah bangunan gedung akan setara dengan energi sebesar 3600 kilojoule.

2.2. Manajemen Energi dan Audit Energi

Manajemen energi adalah sebuah teknik dan fungsi pengelolaan untuk memonitoring, merekam, menganalisis dan mengontrol aliran energi yang bekerja dalam sebuah sistem untuk mencapai efisiensi penggunaan yang maksimum. Manajemen energi merupakan kombinasi dari *technical skill* dan manajemen bisnis yang memiliki fokus pada *business engineering* (Malik, 2013).

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012, manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar dapat tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisir konsumsi bahan baku dan bahan pendukung.

Perencanaan merupakan salah satu bagian terpenting dalam program manajemen energi. Perencanaan yang baik merupakan perlindungan terhadap kontinuitas, sedangkan pengaturan jadwal kegiatan sepanjang tahun memberi peran penting bagi program manajemen energi (*Pasisarha, 2012*).

Terdapat dua strategi pokok dalam manajemen energi, yaitu konservasi energi dan efisiensi energi. Konservasi energi merupakan upaya menghindari pemakaian energi yang tidak perlu dan pengurangan permintaan pada pelayanan yang berkaitan dengan energi. Sedangkan efisiensi energi merupakan upaya pengurangan pemakaian energi pada saat penggunaan.

Salah satu bagian dari manajemen energi adalah audit energi. Audit energi adalah teknik yang digunakan untuk menghitung besarnya konsumsi energi pada bangunan gedung dan mengenali cara-cara untuk penghematannya (*SNI 03-6196:2000*). Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012, audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi.

Hasil audit energi akan memberikan gambaran tentang penggunaan energi, sehingga dapat disusun suatu rancangan strategis untuk mengendalikan penggunaan energi. Beberapa aspek yang harus diperhatikan dalam sebuah audit energi adalah dimana energi digunakan, bagaimana energi itu digunakan, bagaimana biaya dapat direduksi, bagaimana menghitung penghematan dan bagaimana karakteristik sistem yang mengkonsumsi energi (Malik, 2013).

2.3. Pengertian Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Salah satu ukuran hemat atau tidaknya bangunan dalam pemakaian energi adalah intensitas konsumsi energi (IKE). IKE merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui tingkat pemakaian energi pada suatu bangunan. Energi yang dimaksud adalah segala bentuk beban energi bangunan yang kemudian dikonversikan menjadi penggunaan energi listrik.

Dengan membandingkan intensitas konsumsi energi bangunan dengan standar nasional, bisa diketahui apakah sebuah ruangan atau keseluruhan gedung sudah efisien atau tidak dalam menggunakan energi (Malik, 2013). Kajian yang dilakukan dalam evaluasi IKE listrik sangat berguna untuk meninjau seberapa banyak konsumsi listrik suatu fasilitas (institusional) sudah memenuhi syarat hemat energi (Pasisarha, 2012)

Intensitas konsumsi energi (IKE) listrik adalah besar nilai pemakaian energi listrik untuk setiap satuan luas bangunan dalam waktu setahun (SNI 03-619:2000). IKE dirumuskan sebagai
$$\frac{\text{pemakaian energi listrik (kWh)}}{\text{luas bangunan (m}^2\text{)}}$$

Nilai IKE dihitung dengan memperhatikan data seperti diperoleh pada tahap audit awal. Perhitungan yang dilakukan mencakup item berikut (*SNI 03-6196-2000*):

- 1) Rincian luas bangunan gedung dan luas total bangunan gedung (m²).
- 2) Konsumsi energi bangunan gedung per tahun (kWh/tahun).
- 3) IKE bangunan gedung (kWh/m².tahun).
- 4) Biaya energi listrik bangunan gedung (Rp/kWh).

2.4. Target Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Sesuai dengan batasan masalah, maka standar acuan yang digunakan adalah laporan penelitian ASEAN-USAID *Building Energy Conservation Project* dan alat penilaian *Energy Efficiency and Conservation* pada *GreenShip Rating Tools* untuk gedung terbangun yang dikeluarkan oleh GBCI.

2.4.1. ASEAN-USAID *Building Energy Conservation Project*

Menurut pedoman pelaksanaan konservasi energi yang dikeluarkan oleh ASEAN-USAID *Building Energy Conservation Project*, standar IKE bangunan dikategorikan berdasarkan konsumsi energi per tahun (kWh) dan total luas lantai bangunan (m²). Target nilai IKE tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Target Nilai IKE Menurut ASEAN-USAID

No.	Klasifikasi	IKE (kWh/m ² .tahun)
1	Perkantoran	240
2	Pusat Perbelanjaan (Komersial)	330
3	Hotel (Apartemen)	300
4	Rumah Sakit	380

Sumber: ASEAN-USAID Building Energy Conservation Project, 1992

2.4.2. *Green Building Council Indonesia (GBCI)*

Konsil Bangunan Hijau Indonesia juga mengeluarkan standar target penilaian bangunan hijau menurut tolak ukur Greenship. Standar acuan yang ditentukan oleh GBCI diatur pada *Greenship Rating Tools* untuk gedung terbangun, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Target Nilai IKE Menurut GBCI

No	Jenis Bangunan	Target nilai IKE (kWh/m ² .tahun)
1	Perkantoran	250
2	Mall	450
3	Hotel atau apartemen	350

Sumber: Green Building Council Indonesia, 2011

Nilai intensitas konsumsi energi (IKE) suatu bangunan menjadi syarat dan bahan pertimbangan untuk memberikan poin penilaian performa energi bangunan. Nilai IKE yang diperlihatkan tersebut harus memenuhi target nilai yang ditentukan GBCI jika ingin mendapatkan poin. Poin-poin ini jika digabungkan dengan poin dari alat penilaian lain akan menghasilkan nilai total yang menjadi penilaian performa energi bangunan.

2.5. **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Bangunan**

Berdasarkan sumber energinya, faktor-faktor yang menentukan konsumsi energi dibagi menjadi dua, yaitu faktor yang bersumber dari luar bangunan dan faktor yang bersumber dari dalam bangunan. Faktor eksternal tergantung kepada alam, sedangkan faktor internal tergantung kepada kebutuhan manusia.

2.5.1. Faktor eksternal

Faktor eksternal adalah pengaruh yang diakibatkan oleh iklim dan cuaca. Iklim dapat didefinisikan sebagai hasil integrasi dari kondisi cuaca jangka waktu dan karakteristik dari lokasi geografis tertentu. Sedangkan cuaca adalah rangkaian peristiwa *atmospheric* yang terjadi pada waktu dan tempat tertentu. Dalam skala global, iklim terbentuk oleh perbedaan masukan panas matahari dan pancaran panas yang hampir seragam pada permukaan bumi.

1) Temperatur udara

Temperatur udara adalah ukuran energi kinetik rata-rata dari pergerakan molekul-molekul. Secara umum temperatur udara diartikan sebagai tingkat atau derajat panas dari kegiatan molekul dalam atmosfer. Satuan yang umum digunakan adalah Celcius, Fahrenheit dan Kelvin. Temperatur udara antara daerah satu dengan daerah lain sangat berbeda. Adanya perbedaan temperatur ini dipengaruhi oleh hal-hal berikut:

- a) Sudut datang sinar matahari, yaitu sudut yang dibentuk oleh sinar matahari dan suatu bidang di permukaan bumi.
- b) Tinggi rendahnya tempat, perbedaan temperatur udara yang disebabkan adanya perbedaan tinggi rendah suatu daerah. Perbedaan temperatur berdasarkan tinggi rendahnya suatu daerah dinamakan derajat geotermis. Suhu udara rata-rata tahunan pada setiap wilayah di Indonesia berbeda-beda sesuai dengan tinggi rendahnya dari permukaan laut.
- c) Angin dan arus laut, mempunyai pengaruh terhadap temperatur udara karena angin mampu membawa udara dan menjaga temperaturnya.

- d) Lama penyinaran matahari, tergantung dari letak garis lintangnya. Indonesia yang terletak di daerah lintang rendah mendapatkan penyinaran matahari relatif lebih lama sehingga suhu rata-rata hariannya cukup tinggi.
- e) Awan, merupakan penghalang pancaran sinar matahari ke bumi. Jika pada suatu daerah terjadi awan (mendung), maka panas yang diterima bumi relatif sedikit, hal ini disebabkan sinar matahari tertutup oleh awan dan kemampuan awan menyerap panas matahari.

2) Kelembaban udara

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di udara. Pada kondisi di dalam ruangan, kelembaban udara mempengaruhi pelepasan kalor dari tubuh manusia. Kelembaban yang tinggi menyebabkan panas dalam tubuh manusia sulit untuk dilepaskan. Kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu. Hubungan temperatur dan kelembaban pada bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Temperatur dan Kelembaban Optimal dalam Bangunan

Kelembaban	Suhu nyaman siang	Suhu nyaman malam
0-30%	22-30°C	20-27°C
30-50%	22-29°C	20-26°C
50-70%	22-28°C	20-26°C
70-100%	22-27°C	20-25°C

Tabel tersebut berlaku bagi orang yang berpakaian ringan atau indeks pakaian (clo) sama dengan 0.3 dan yang sudah terbiasa dengan iklim setempat.

Sumber: Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Yayasan LPMB (Prakoso, Lamahala, & Sentanu, 2014)

3) Kecepatan angin

Angin adalah udara bergerak yang disebabkan oleh adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Terjadinya angin dipengaruhi oleh faktor tekanan udara, letak, ketinggian tempat dan waktu. Kecepatan angin pada daerah beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Angin membantu mengangkat uap-uap air yang menghambat pelepasan kalor. Lippsmeier menyatakan bahwa kecepatan angin dibagi ke dalam beberapa kelas (Prakoso, Lamahala, & Sentanu, 2014). Nilai kecepatan angin dapat dikategorikan ke dalam bentuk kualitatif seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Patokan Kecepatan Angin (m/s)

Kecepatan	Kategori	Penjelasan
<0,25	nyaman	gerakan udara tidak terasa
0,25–0,5	nyaman	gerakan udara terasa
1,0–1,5	tidak menyenangkan	kurang menyenangkan
>1,5	tidak menyenangkan	tidak menyenangkan

Sumber: Prakoso, Lamahala, & Sentanu, 2014

4) Radiasi Matahari

Radiasi matahari adalah pancaran energi yang berasal dari proses termonuklir yang terjadi di matahari. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung empat faktor, yaitu jarak matahari, intensitas radiasi matahari atau besar kecilnya sudut datang sinar matahari, panjang hari (*sun duration*) dan pengaruh atmosfer.

2.5.2. Faktor internal

Faktor internal merupakan hubungan segala sesuatu yang dilakukan dan dibutuhkan manusia dalam mencapai kenyamanan termal. Faktor manusia atau faktor internal terdiri dari aktivitas, pakaian dan kalor sensibel.

1) Aktivitas

Tingkat aktivitas mempengaruhi nilai metabolisme. Metabolisme adalah energi yang dikeluarkan pada proses oksidasi dalam tubuh manusia yang tergantung pada aktivitas otot. Metabolisme diukur dalam MET (1 MET = 58 W/m permukaan tubuh). Manusia dewasa dalam kenyamanan termal dengan tingkat aktivitas 1 MET akan memiliki heat loss kira-kira 100 W.

2) Pakaian

Pakaian diklasifikasikan berdasarkan pada nilai insulasinya. Satuan yang biasa digunakan untuk pengukuran insulasi pakaian adalah satuan Clo. Nilai Clo dihitung dengan menambahkan satuan resistansi pada setiap pakaian yang dipakai.

3) Kalor sensibel

Kalor sensibel adalah suatu kalor yang berhubungan dengan perubahan temperatur dari udara. Selain itu juga terdapat kalor laten, yaitu kalor yang berhubungan dengan perubahan fasa dari air. Kalor laten terjadi apabila ada penambahan uap air pada ruangan yang dikondisikan, misalnya karena penghuni ruangan atau peralatan yang menghasilkan uap (*SNI 6390-2011*).

4) Alat Pendinginan Sistem Tata Udara

Alat pendingin bangunan dalam bahasan mekanikal disebut sebagai mesin referigerasi. Mesin refrigerasi adalah mesin yang melakukan proses refrigerasi untuk mendapatkan efek pendinginan (*SNI 6390, 2011*). Faktor utama yang menentukan mesin refrigerasi adalah beban pendinginan bangunan.

Sebagai faktor utama untuk menentukan kapasitas pendinginan sistem tata udara dan refrigerasi, perhitungan perkiraan beban pendinginan harus dilakukan dengan cermat pada setiap komponen beban. Perhitungan beban pendinginan yang cermat akan dapat menjamin diperhatikannya sebanyak mungkin peluang penghematan energi pada tahap perencanaan. Perhitungan beban pendinginan hanya dengan menggunakan "angka praktek" dan semacamnya yang didasarkan atas luas lantai, hanya dapat digunakan untuk menyusun anggaran atau sebagai perkiraan kasar kapasitas sistem tata udara, tetapi bukan untuk perencanaan sistem tata udara (*SNI 6390-2011*).

Perhitungan beban pendinginan maksimum yang terlampau konservatif, atau terlalu besar faktor keamanannya, akan menyebabkan penentuan kapasitas mesin pendingin yang terlampau besar, akibatnya beban parsial mesin pendingin akan beroperasi jauh di bawah kapasitasnya. Kondisi ini umumnya akan menyebabkan pemakaian energi yang kurang efisien (*SNI 6390-2011*). Perlu dilakukan pengukuran untuk mendapatkan kinerja mesin pendingin yang sesuai. Dalam konservasi energi, sistem kontrol dan manajemen energi terhadap mesin pendingin bangunan wajib dilakukan untuk meningkatkan performa penghematan energi pada bangunan.

Sistem tata udara sentral dan unit ac kecil yang banyak dipakai di Indonesia pada umumnya bertipe siklus kompresi uap (*vapor compression cycle*). Siklus kompresi uap memerlukan kompresor yang digerakkan oleh motor listrik. Mesin pendingin pada tipe ini umumnya menggunakan refrigeran/fluida kerja sintetis yang biasa disebut freon. Beberapa mesin menggunakan refrigeran R134a, R123a, R22, atau campurannya (*USAID Indonesia, 2015*).

Energi yang digunakan untuk mendinginkan suhu udara tersebut dapat terbuang melalui sistem ventilasi yang kurang baik, atau melalui jendela atau sekat yang terbuka. Jika hal ini terjadi, diperlukan udara tambahan untuk dimasukkan ke dalam gedung dan didinginkan untuk menyediakan udara yang nyaman. Ini disebut pemborosan energi. Mengurangi penggunaan konsumsi energi pada sistem tata udara dapat mengurangi terbuangnya udara keluar.

Kemampuan pelepasan energi panas dari sistem tata udara sentral dan unit ac kecil lainnya ke udara sekitarnya adalah sangat penting. Jika proses pelepasan energi tersebut terganggu atau terhalang maka efektifitas sistem pendingin tersebut akan menurun. Oleh karena itu sangat penting menjaga kemampuan pelepasan energi panas sistem pendingin tetap efektif (*USAID Indonesia, 2015*).

Dalam kinerja ac dikenal kapasitas refrigerasi yang sering disebut dengan COP atau EER. Kapasitas refrigerasi adalah ukuran kemampuan pendinginan efektif dari suatu mesin pendingin yang dinyatakan dalam satuan BTU/jam atau watt. Koefisien performansi atau *coefficient of performance* (COP) adalah rasio antara efek pendinginan (*cooling effect*) atau refrigerasi (W) dengan daya listrik yang diperlukan oleh motor kompresor (W), rumusnya adalah:

$$\text{COP} = \text{cooling effect (kW)} / \text{power input to compressor (kW)}$$

Energy efficiency ratio (EER) adalah rasio antara efek pendinginan dalam BTU/jam dengan daya listrik yang diperlukan oleh motor kompresor dalam watt (W). Perbandingan antara daya listrik yang diperlukan motor kompresor (kW) dengan efek pendinginan dalam *ton refrigeration* (TR) adalah karakteristik kinerja yang juga umum dipakai dalam menilai kinerja mesin pendingin (kW/TR). Dengan demikian hubungan antara EER, kW/TR dan COP adalah:

$$\text{kW/TR} = 3.516/\text{COP}$$

$$\text{EER} \times \text{kW/TR} = 12$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa terdapat hubungan antara EER, COP dan kW/TR, seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan antara EER, COP dan kW/TR

EER	COP	kW/TR
6,0	1,376	2,0
12,0	3,516	1,0
24,0	7,032	0,5

Sumber: USAID Indonesia, 2015

Kinerja ac sentral dipengaruhi oleh kinerja masing-masing komponen sistem tata udara di atas. Sistem tata udara terdiri dari beberapa komponen inti yang terkait satu sama lain, yaitu mesin pendingin (*chiller*), unit pengolah udara atau *air handling units* (AHUs), unit koil kipas atau *fan coil units* (FCUs), pompa air dingin atau *chilled water pumps*, pompa air pendingin atau *condenser water pumps*, dan menara pendingin atau *cooling towers* (USAID Indonesia, 2015). Kinerja ac sentral yang baik hanya dapat diperoleh dengan memastikan kinerja masing-masing komponen tersebut terjaga dengan baik.

2.6. Tinjauan *Software* yang Digunakan

Jika dahulu pengukuran performa energi bangunan lebih merupakan pendekatan penilaian performa yang sederhana, serta cenderung mengacu pada peraturan yang disyaratkan, kini muncul sebuah konsep baru, yaitu *Performance-Based Approach*. Konsep baru ini bukan saja sebagai standar yang menentukan penilaian, namun lebih mendemonstrasikan kemampuan usulan desain dari objek yang dibangun. Dengan demikian, pendekatan diharapkan mampu menghasilkan alternatif rancangan desain yang lebih fleksibel, rasional, inovatif serta efisien. Konsep baru ini didukung komputer performa bangunan dengan teknik simulasi.

2.6.1. Autodesk Ecotect Analysis 2011

Autodesk Ecotect Analysis 2011 merupakan *software* analisa bangunan yang mengintegrasikan pemodelan tiga dimensi dengan berbagai analisa dan simulasi performa bangunan. Berbagai fitur analisa dan simulasi diaplikasikan secara interaktif, setiap perubahan pada desain secara interaktif akan terbaca dampaknya. Secara umum Autodesk Ecotect Analysis 2011 dapat membantu melakukan analisis terhadap kondisi fisika bangunan meliputi kondisi penghawaan, pencahayaan dan akustika. *Software* Autodesk Ecotect Analysis 2011 memberi ruang bagi pendekatan termal untuk lebih mudah diterapkan, karena *software* ini memiliki sejumlah fitur-fitur simulasi termal yang ramah terhadap pengguna. Dengan Autodesk Ecotect Analysis 2011 diharapkan performa bangunan dapat dipertimbangkan lebih awal pada tahapan konseptual ketimbang di akhir proses desain, sehingga dapat menghemat waktu dan uang.

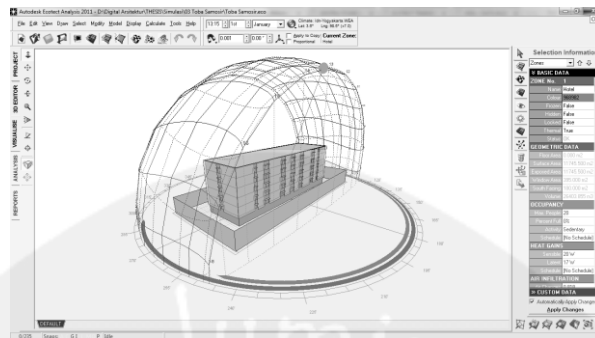
Autodesk Ecotect Analysis 2011 mengadaptasi *Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) Admittance Method*. Metode Admitansi merupakan metode simplifikasi yang sangat cepat dikalkulasi dan dapat digunakan untuk menghasilkan sejumlah besar informasi yang berguna dalam proses desain. Untuk tujuan desain, metode admitansi merupakan pilihan terbaik sejauh ini (*Marsh, 2008*).

Perlu diperhatikan bahwa Autodesk Ecotect Analysis 2011 bukanlah *software* validasi. Autodesk Ecotect Analysis 2011 berguna sebagai alat bantu desain pada tahapan konseptual untuk memprediksi performa desain, jadi saat desain mendekati penyelesaian akhir maka sebaiknya analisa dilanjutkan dengan *software* yang lebih spesifik seperti Energy Plus, untuk beban pendinginan. Disamping itu terdapat limitasi yang dimiliki *software* ini, yakni belum tersedianya diagram untuk menghitung jumlah *direct radiation* dan *diffuse radiation*, juga fitur untuk menghitung *time-lag* dan *solar heat gain*, serta fitur untuk mengkalkulasi OTTV secara langsung (*Zain, 2011*).

Sebelum dilakukan simulasi pada Autodesk Ecotect Analysis 2011 maka harus dilakukan langkah-langkah sebagai berikut (*Zain, 2011*):

- 1) memasukan letak geografis dan data iklim lokasi proyek
- 2) membuat model tiga dimensi
- 3) mengisi properti material
- 4) mengisi karakteristik ruang

Kompilasi data-data tersebut akan menghasilkan sebuah tampilan yang informatif pada tampilan antar muka Ecotect, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Antar Muka Ecotect

Informasi letak geografis yang harus diisi adalah garis lintang, garis bujur dan zona waktu GMT. Bila informasi letak geografisnya tidak bisa didapat, *software* Ecotect menyediakan peta yang akan menampilkan ketiga variabel di atas secara otomatis. Letak geografis juga akan muncul secara otomatis bila data *weather-tool* dimasukkan. *Weather-tool* merupakan *software* pelengkap bawaan Autodesk Ecotect Analysis 2011 yang diakses secara terpisah dan berfungsi sebagai database iklim. Kota-kota di Indonesia belum disertakan dalam database tersebut sehingga harus dibuat data cuacanya. Data iklim yang perlu dimasukkan yaitu temperatur udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, persentase awan, radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi tak langsung (*diffuse radiation*). Selain kedua data terakhir, data-data lainnya bisa didapatkan dari BMG (Zain, 2011).

Terdapat dua jenis model dalam Autodesk Ecotect Analysis 2011, yakni model yang di-*import* dari *software* lain dan yang dibuat khusus dalam *software* Autodesk Ecotect Analysis 2011. Model yang di-*import* diperuntukan bagi simulasi *sun-shading* dan pencahayaan, karena tidak memerlukan kalkulasi yang kompleks, sedangkan untuk simulasi termal, model harus dibuat khusus dalam Autodesk Ecotect Analysis 2011 karena kalkulasinya yang cukup kompleks.

Pengaruh elemen iklim ke dalam bangunan salah satunya tergantung pada material bangunan yang digunakan. Ada dua kategori material sebagai dasar kalkulasi yaitu material padat dan transparan. Nilai *reflectance*, *transmittance*, *admittance*, *u-value*, *specularity*, *roughness* dan *emissivity* diperlukan oleh kedua jenis material tersebut (Zain, 2011).

Namun terdapat properti tambahan yang hanya dimiliki oleh masing-masing material. Material padat memerlukan properti *solar absorption*, *thermal decrement* dan *time-lag*, sedangkan material transparan memerlukan properti *solar heat-gain* dan *refractive index*. Sejumlah properti seperti *u-value*, *admittance*, *thermal decrement* dan *refractive index* dapat dikalkulasi oleh Ecotect melalui input tambahan yakni *conductivity*, *specific heat*, *density* dan ketebalan material. Demikian pula untuk *solar absorption* dan *reflectance*, secara otomatis akan muncul nilainya setelah warna material dipilih. Tetapi sejauh ini Autodesk Ecotect Analysis 2011 belum mampu mengkalkulasi *time-lag* (Zain, 2011).

Karakteristik ruang yang dimaksud dalam Ecotect adalah kondisi ruangan yang berkaitan dengan kenyamanan termal dan pencahayaan. Hal ini dipengaruhi oleh pengaturan nilai *clo*, *humidity*, *air speed*, *lighting level*, *occupancy*, *activity*, *internal gain*, *infiltration rate*, *active system*, *thermostate range* dan *hours of operation*. Pengaturan tipikal pakaian penghuni, jumlah orang yang menghuni dalam setiap ruangnya, jenis kegiatan yang dilakukan, waktu huni dan output panas dari lampu maupun peralatan elektronik akan mempengaruhi beban panas dalam suatu ruangan dan selanjutnya mempengaruhi beban ac dalam mengkonsumsi listrik.

Jenis pengkondisian udara yang dipilih baik itu *natural ventilation*, *cooling only* atau campuran keduanya, akan berpengaruh pada tingkat konsumsi listrik suatu ruangan. Fitur ini utamanya berfungsi untuk membuat skenario jenis tipikal penghuni yang berpengaruh pada beban panas ruangan dan perilaku penghuni dalam menggunakan sistem ac (Zain, 2011).

Simulasi-simulasi yang dapat dilakukan Ecotect antara lain *sun-shading*, pencahayaan alami & buatan, OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*), *mean radiant temperature*, *heat island*, *periode kenyamanan termal*, *cooling load*, dan EEI (Energy efficient Index). EEI secara prinsip sama dengan IKE (Intensitas Konsumsi Energi). Hasil simulasi akan ditampilkan dalam bentuk *analysis grid*, grafik maupun tabel (Zain, 2011).

Bila mengacu pada ASEAN Award, Energy Efficient Index (EEI) atau Intensitas Konsumsi Energi (IKE) adalah total konsumsi energi listrik per satuan luas ruangan ber-AC dalam setahun dikalikan perbandingan jam operasional standar dalam setahun dengan jam operasional real dalam setahun, dengan rumus :

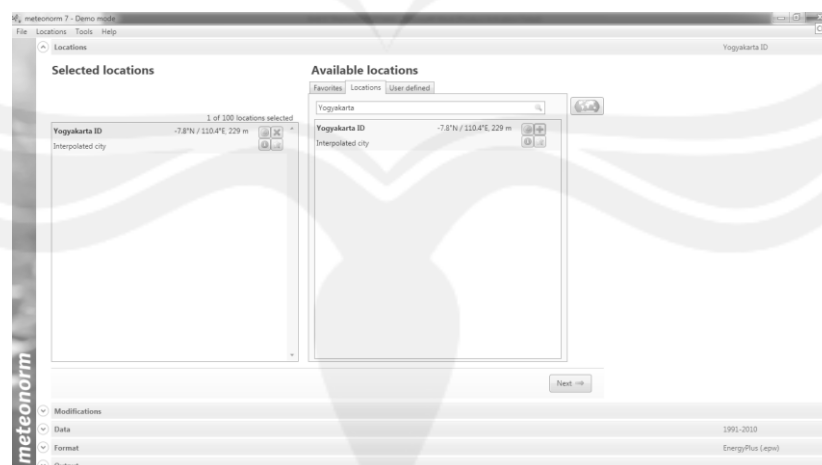
$$EEI = \frac{(2000/\text{jam operasional real setahun}) \times \text{total konsumsi listrik setahun}}{\text{luas ruangan ber-AC}}$$

Istilah EEI tidak disebutkan dalam Autodesk Ecotect Analysis 2011, namun variabel untuk mendukung perhitungan EEI dapat diprediksi seperti jam operasional setahun, total konsumsi listrik setahun dan total luas ruangan ber-ac. Sumber konsumsi listrik pada Autodesk Ecotect Analysis 2011 dibagi menjadi tiga variabel utama yakni *cooling load*, *appliance object* dan *light object*. Data-data tersebut berfungsi sebagai prediksi awal yang memerlukan analisa lebih lanjut (Zain, 2011).

2.6.2. Meteonorm 7

Meteonorm 7 adalah database meteorologi yang berisi data klimatologi di setiap lokasi di dunia. Hasilnya merupakan olah data jangka panjang. Mereka mewakili tahun rata-rata periode iklim waktu berdasarkan pengaturan pengguna. Meteonorm 7 adalah program komputer untuk perhitungan data iklim. Meteonorm 7 merupakan sumber data untuk program simulasi rekayasa dalam aplikasi pasif, aktif dan aplikasi *photovoltaic* untuk energi matahari.

Meteonorm 7 memiliki metode untuk perhitungan radiasi matahari pada permukaan manapun dengan orientasi pada setiap lokasi yang diinginkan. Metode ini didasarkan pada database dan algoritma sesuai dengan skema yang telah ditentukan. Prosesnya dimulai dari menentukan lokasi yang ingin diketahui datanya, dan berakhir dengan konversi data sesuai format yang diinginkan. *Software* Meteonorm 7 memiliki tampilan antar muka seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Antar Muka Meteonorm

Tahapan cara kerja komputasi pada Meteonorm 7 adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat perhitungan dengan data-data yang sudah dimiliki, dalam format rata-rata nilai setiap bulannya. Pada tahap ini meteonorm akan mengambil

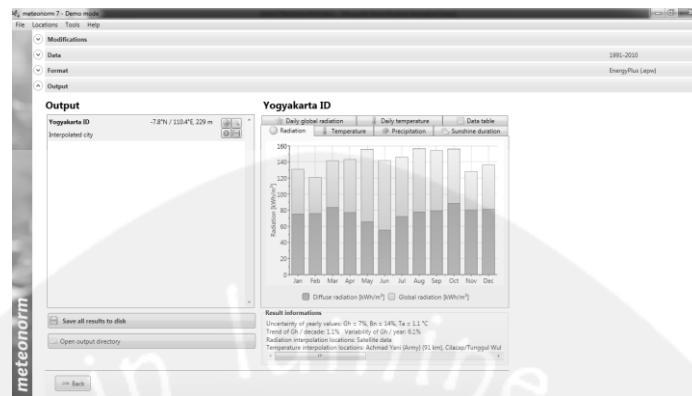
data cuaca dan melakukan interpolasi dari data yang dimasukkan, seperti nama daerah, koordinat lintang dan bujur, ketinggian, daerah waktu.

- 2) Memecah data dalam hitungan tiap jam. Data hasil perkiraan interpolasi tadi dibagi dalam sebaran data tiap jamnya selama sepuluh tahun. Tentunya dengan melakukan perhitungan dari data yang telah dimiliki sebelumnya.
- 3) Membuat data kompak yang terdiri dari beberapa item yang membentuk iklim dan cuaca, seperti temperatur udara, radiasi, kelembaban dan lain-lainya.

Sumber data Meteororm 7 berasal dari stasiun cuaca yang dimiliki oleh hampir seluruh negara di dunia. Kalkulasi keseluruhan data tersebut membentuk Meteororm 7 menjadi bank data cuaca karena kelengkapannya. Beberapa sumber data cuaca yang menjadi acuan data Meteororm 7 antara lain:

- 1) International Weather for Energy Calculations (IWEC)
- 2) Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)
- 3) Typical Meteorological Year (TMY)
- 4) Typical Meteorological Year 2 (TMY2)
- 5) Typical Meteorological Year 3 (TMY3)

Dari stasiun-stasiun cuaca yang terintegrasi tersebut, Meteororm 7 kemudian juga dapat membuat data prediksi di lokasi yang tidak memiliki stasiun cuaca. Lokasi dengan data jenis ini disebut *interpolated city*, yang dilengkapi dengan informasi asal stasiun cuaca yang menghasilkan prediksi data tersebut. Pengguna dapat membuat data cuaca baru dari lokasi yang diinginkan, bahkan hingga koordinat yang paling detail sekalipun. Data yang diperoleh masih berupa data prediksi. Data tersebut ditampilkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan Hasil *Running Data Meteonom*

2.6.3. Elements

Elements adalah *software* tidak berbayar yang dapat diakses oleh siapapun dengan kemampuan lintas program atau *open sources cross platform*. Elements memiliki fungsi untuk membuat dan mengkonversi data cuaca. Aplikasi ini terintegrasi dengan beberapa *software* yang terkait dengan data cuaca. Elements dikembangkan oleh Big Ladder Software dengan pendanaan dari Rocky Mountain Institute. Dalam penelitian ini Elements menjadi alat untuk mengkonversi data yang telah dihasilkan oleh Meteonom 7 agar dapat digunakan dalam *software* Ecotect. Tampilan antar muka *software* Elements dapat dilihat pada Gambar 5.

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [hPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [Wh/m2]	Normal Solar [Wh/m2]	Diffuse Solar [Wh/m2]	Wind Speed [m/s]
2013/01/01 @ 00:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 01:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 02:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 03:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 04:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 05:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 06:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0
2013/01/01 @ 07:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	425.57	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 08:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	514.26	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 09:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	597.16	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 10:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	639.32	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 11:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	667.17	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 12:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	668.82	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 13:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	644.15	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 14:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	594.85	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 15:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	524.26	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 16:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	437.2	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 17:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	339.6	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 18:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	238.09	423.63	282.42	0
2013/01/01 @ 19:00:00	15	9.67	101.33	50	4.69	0	0	0	0

Gambar 5. Tampilan Antar Muka *Software* Elements