**PENGEMBANGAN KRITERIA DESAIN ARSITEKTUR**

**UNTUK EVALUASI KINERJA ENERGI BANGUNAN PENDIDIKAN TINGGI**

**Dian Ariestadi1), Imam Alfianto2), Mohammad Sulton3)**

1 Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang email: [dianariestadi@gmail.com](mailto:dianariestadi@gmail.com)

2 Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang email: [alfiantoimam@gmail.com](mailto:alfiantoimam@gmail.com)

3 Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang email: [mohasulton@yahoo.co.id](mailto:mohasulton@yahoo.co.id)

***Abstract***

*Abstract: Design criteria, especially relating to the design of thermal comfort is an important aspect to the design of sustainable buildings. This research purpose to develop the architectural design criteria that influence thermal comfort as an important aspect for the evaluation of energy performance in buildings. Determination of the initial criteria using Important Performance Analysis (IPA), and weighting interest using MCDM 23 Analysis with AHP models. IPA results showed that there were 24 design criteria related to thermal comfort are important to users of the building. Furthermore, in addition to the evaluation criteria of MCDM 23 showed the level of interest of the building design criteria for higher education facilities that affect the energy performance are: Life cycle cost 19.9%, Environmental contexts 19.1%, Resources use 18.4%, Architectural design 14.1%, Environmental loading 11.8%, Thermal comfort systems design 8.7%, and Lighting Systems Design 8.0%. The conclusions indicate varying criteria priority weights of the main criteria and sub-criteria as the initial product that has been produced. The value of the weight percentage of the main criteria also includes details of the value of the weight percentage of the sub-criteria. The value of the weight percentage will be used to calculate the level of energy performance of buildings in higher education facilities in Indonesia.*

***Keywords:*** *Energy Performance of buildings, higher education facilities, Important Performance*

*Analysis, MCDM 23*

**1. PENDAHULUAN**

Menurut data Mazria (2007), rata-rata sektor konstruksi di seluruh dunia menggunakan 37% energi primer, mengkonsumsi sekitar 76% energi listrik serta menyumbang emisi karbon sekitar 9% dari total emisi yang ada di bumi ini. Bisa dikatakan bahwa sektor konstruksi/bangunan merupakan penambah beban lingkungan terbesar di bumi. Di lain pihak, tidak dapat dihindari bahwa pertumbuhan sektor konstruksi diprediksi akan semakin tinggi, seiring dengan pertumbuhan pendapatan per kapita negara. Hal ini menuntut adanya suatu sistem yang mengatur, membatasi dan mengevaluasi penggunaan energi pada bangunan, mulai dari tahap perencanaan, pembangunan sampai tahap operasional bangunan. Di Indonesia, parameter tersebut sampai saat ini masih dalam tahap pengembangan dan belum menjadi salah satu kriteria pokok dalam perancangan dan

perencanaan bangunan, khususnya berkaitan dengan perijinan bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat untuk melakukan analisa kinerja energi bangunan pada pada fasilitas pendidikan tinggi. Tujuan khusus adalah untuk: (1) Mengetahui karakteristik respon bangunan terhadap lingkungan global alami, (2) Mengidentifikasi elemen-elemen bangunan dan dampaknya terhadap penggunaan energi, (3) Mengidentifikasi indikator-indikator yang berpengaruh terhadap penggunaan energi dalam bangunan, (4) Menyusun suatu kriteria dasar dan spesifik untuk analisa kinerja energi bangunan. Diharapkan perangkat analisa akan memberikan arahan perancangan yang lebih baik untuk meningkatkan performa bangunan, khususnya tautan dengan konsep berkelanjutan.

**2. KAJIAN LITERATUR**

Selama ini industri konstruksi adalah sektor industri yang paling akhir dipikirkan dapat membebani lingkungan. Namun pada kenyataannya industri konstruksi merupakan industri yang paling banyak ada dan tidak dapat dihindari akan terus berkembang setiap saat seiiring dengan pertumbuhan pendapatan per kapita negara. Menurut Agenda 21 on Sustainable Construction (CIB & UNEP- IETC, 2002), industri konstruksi memberi beban yang besar terhadap lingkungan mulai dari fase perencanaan (*pre-building phase*), fase konstruksi dan operasional (*building phase*) sampai fase demolisi (*post-building phase*). Pada semua fase tersebut perlu ditekankan perwujudan parameter keberlanjutan atau sustainabilitas.

Industri konstruksi di Indonesia, khususnya untuk konstruksi bangunan gedung secara teknis belum mempunyai perangkat untuk melakukan analisa, batasan/ kontrol dan evaluasi terhadap dampaknya terhadap lingkungan, khususnya pada tahap pra- konstruksi. Pembangunan konstruksi bangunan gedung saat ini diatur dalam UU No. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung. Dalam undang-undang ini pertimbangan terhadap dampak lingkungan hanya dilakukan untuk bangunan tertentu yang dinilai akan banyak memberi beban pada lingkungan, padahal pada kenyataannya semua konstruksi memberi beban besar kepada lingkungan.

Memperhatikan kebijakan pemerintah tentang pendidikan, yaitu dalam UU No. 20

Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional terkait dengan sistem desentralisasi, menuntut pembangunan fisik yang cukup

banyak, salah satunya adalah pada fasilitas pendidikan tinggi. Peraturan dan standar yang ada di Indonesia saat ini, yaitu SNI 03-6196-

2000 tentang prosedur audit energi pada

bangunan gedung, menyebutkan bahwa ruang lingkup standar ini hanya meliputi perkantoran, hotel, pertokoan/pusat belanja, rumah sakit, apartemen dan rumah tinggal. Selama ini, konstruksi bangunan di lingkungan fasilitas pendidikan tinggi belum mendapat perhatian yang layak terkait dengan kinerja energi dan keterkaitannya lingkungan global alami.

Mengacu pada UU No.23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal

18 (1) bahwa “Setiap usaha dan/atau kegiatan

yang menimbulkan dampak besar dan penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki analisis mengenai dampak lingkungan hidup untuk memperoleh izin melakukan usaha dan atau kegiatan”. Pasal 28, bahwa “Dalam rangka peningkatan kinerja usaha dan/atau kegiatan, Pemerintah mendorong penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan untuk melakukan audit lingkungan hidup”. Pengembangan suatu perangkat analisa kinerja energi bangunan untuk konstruksi baru pada tahap perencanaan (pre-building phase) bagi bangunan fasilitas pendidikan tinggi sangat penting untuk dilakukan. Mengingat sektor konstruksi adalah salah satu sektor penyumbang beban energi terbesar terhadap lingkungan disamping sektor industri dan transportasi. Dan mengingat bahwa selama ini belum ada perangkat analisa yang digunakan untuk mengukur, melakukan kontrol dan evaluasi terhadap kinerja energi bangunan, khususnya bagi bangunan fasilitas pendidikan tinggi.

Sejak lama peneliti arsitektur didaerah tropis lembab menemukan sulitnya menangani iklim tropis lembab untuk tujuan penggunaan pendinginan pasif. Santosa (2001) menyatakan hampir 54% waktu dalam satu tahun bangunan dibebani oleh beban energi untuk pendinginan. Priatman (2003) menemukan bahwa pada bangunan perumahan, penggunaan energi untuk kenyamanan termal diperkirakan berkisar 40%-80%, maka kualitas termal bangunan dan faktor cuaca menjadi faktor penentu yang dominan dalam penggunaan energi. Sedangkan pada bangunan komersial (gedung perkantoran, perhotelan, apartemen, pusat pertokoan, rumah sakit), Priatman (2003) menemukan bahwa penggunaan energi untuk kenyamanan termal berkisar 50%-60%, maka jumlah penggunaan energi tergantung dari faktor yang secara bertingkat adalah: (1) Fungsi Bangunan, (2) Tipe Kontrol Lingkungan, (3) Distribusi Energi, (4) Jadwal Operasional, (5) Arus Ventilasi, (6) Kualitas Termal Bangunan.

Pengaruh desain fasade terhadap kinerja termal Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi selama 24 jam menunjukan bahwa kinerja bangunan hanya mampu mencapai rentang kenyamanan selama 3 jam (12,5%). Selama

87,5% bangunan mengalami kondisi over- heating. Kondisi ini memaksa penggunaan pendinginan aktif dengan menggunakan air conditioning (AC) system. Penggunaan AC jelas akan menambah beban energi operasional bangunan (Mahaputri, 2004).

Menurut Suryabrata (2000), penggunaan energi pada bangunan komersial di beberapa kota di Indonesia, menunjukkan bahwa lebih dari 60 % energi yang dikonsumsi, digunakan terutama untuk peralatan sistem pengkondisian udara dan penerangan. Oleh karena itu penghematan kedua jenis sistem utilitas bangunan tersebut akan memberikan kontribusi besar bagi penghematan energi secara keseluruhan.

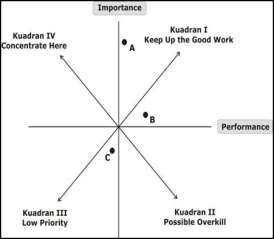
Kajian Kinerja Termal Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi dengan Metode *Steady State* (Mahaputri, 2007) menemukan bahwa kondisi nyaman tidak terjadi pada jam-jam hunian „occupancy period‟ bangunan (yaitu jam 07.00 – 17.00, sesuai dengan fungsi bangunan sebagai fasilitas pendidikan). Analisa kinerja bangunan berkaitan dengan respon terhadap lingkungan termal yang dilakukan pada tahap perencanaan, ternyata dapat memberi rekomendasi terhadap perbaikan rancangan bangunan. Hal ini pada akhirnya akan berpengaruh sangat besar pada kinerja energi bangunan.

**3. METODE PENELITIAN**

Pada Tahap I akan dilakukan identifikasi kriteria yang meliputi pertimbangan perancangan dan strategi yang akan dilakukan untuk meningkatkan kinerja energi bangunan. Pada tahap ini diharapkan akan ditemukan suatu kriteria dasar berkaitan dengan fungsi bangunan. Identifikasi kriteria dilakukan dengan menggunakan metode *Important Performance Analysis* (IPA), yaitu suatu metode analisis yang merupakan kombinasi antara atribut-atribut tingkat kepentingan dan persepsi terhadap kualitas pelayanan ke dalam bentuk dua dimensi.

Kuadran 1: *Keep Up The good Work* adalah atribut-atribut pada kinerja pelayanan suatu tempat dipandang penting oleh pengguna sebagai dasar keputusan dengan kinerja dan kualitas pelayanan adalah sangat baik. Kuadran 2: *Possible Overkill* merupakan atribut-atribut pada kinerja pelayanan suatu tempat kurang penting bagi pengguna, tetapi mempunyai kualitas pelayanan yang baik.

Kuadran 3: *Low Priority* adalah beberapa atribut pada pengguna mengalami penurunan, karena baik tingkat kepentingan dan kualitas pelayanan lebih rendah dari nilai rata-rata. Kuadran 4: *Concentrate Here* merupakan Atribut-atribut pada kinerja pelayanan suatu tempat sangat penting dalam keputusan pengguna, tetapi tidak memiliki kualitas pelayanan yang baik.



**Gambar 2. 1 Kuadran IPA**

Penelitan ini akan mengidentifikasi kriteria faktor-faktor desain yang berpengaruh kinerja energi bangunan fasilitas pendidikan tinggi Di Indonesia. Analisa yang dilakukan untuk mendapatkan bobot prosentase faktor- faktor sesuai dengan tingkat kepentingan berkaitan dengan kriteria desain yang mempengaruhi kinerja energi pada bangunan fasilitas pendidikan tinggi Di Indonesia.

Pada Tahap II, indikator yang telah diidentifikasikan pada penelitian sebelumnya dikembangkan dengan menambah identifikasi kriteria spesifik menggunakan metode Multi- Criteria Decision-Making (MCDM). Multi- Criteria Decision Making (MCDM) adalah suatu metode pengambilan keputusan untuk menetapkan alternatif terbaik dari sejumlah alternatif berdasarkan beberapa kriteria tertentu. Kriteria biasanya berupa ukuran- ukuran atau aturan-aturan atau standar yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Secara umum dapat dikatakan bahwa MCDM menyeleksi alternatif terbaik dari sejumlah alternatif. MCDM merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang didasarkan atas teori-teori, proses-proses, dan metode analitik yang melibatkan ketidakpastian, dinamika, dan

aspek kriteria jamak. MCDM 23 adalah software desain yang mengotomatisasi banyak tugas yang terdapat dalam penggunaan metode Multi-Criteria Decision-Making, yang dikembangkan oleh *International Energy Agency* (IEA) *Solar Heating and Cooling Task*

*23* (Balcomb, 2001).

Perbandingan kriteria dalam standar MCDM 23 dan atribut-atribut kinerja energi untuk kenyamanan suhu dan pencahayaan bangunan perguruan tinggi yang diidentifikasi dengan metode IPA (Ariestadi dkk, 2013). Atribut-atribut tersebut akan dikembangkan menjadi kriteria-kriteria baru untuk melengkapi kriteria-kriteria standar yang ada pada MCDM 23. Atribut kinerja energi bangunan fasilitas pendidikan dirumuskan menjadi kriteria dan sub kriteria baru yang sesuai untuk selanjutnya digunakan dalam pengembangan aplikasi MCDM 23 untuk menganalisis Kinerja Energi Bangunan pada Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi Di Indonesia.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Metode analisis evaluatif kinerja faktor- faktor desain yang berkaitan dengan kenyamanan termal bangunan yakni kenyamanan suhu dan kenyamanan pencahayaan. Faktor-faktor tersebut menjadi atribut IPA yang akan dinilai tingkat kepuasan terhadap pelayanan dan tingkat kepentingannya. Pengembangan atribut berdasarkan: **Pertama**, faktor-faktor yang ditentukan dalam 7 variabel dalam *The LEED*

*2009 for Existing Buildings*: *Operations &*

*Maintenance Rating System*, yaitu: (1) *Sustainable Sites*, (2) *Water efficiency*, (3) *Energy and Atmosphere*, (4) *Materials and Resources*, (5) *Indoor Environmental Quality*, (6) *Innovation in Operations*, dan (7) *Regional Priority*. **Kedua**, parameter yang ditetapkan oleh *Greenship Rating Tools* untuk Gedung Terbangun, yaitu: (1) Manajemen tapak, (2) Efisiensi dan konservasi energi, (3) Pengelolaan penggunaan air, (3) Penghematan penggunaan material dan sumber daya alam, (4) Kualitas dan kenyamanan ruang dalam, dan (5) Manajemen pengelolaan bangunan. **Ketiga**: parameter yang terdapat dalam Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia - *Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia* (EECCHI), yang meliputi: (1)

Perencanaan dan lansekap, (2) Desain struktural dan selubung, (3) Desain pencahayaan dan listrik, (4) Desain HVAC, serta (5) Operasi dan Pemeliharaan bangunan.

Tabel 1. Pengembangan Atribut untuk IPA

|  |  |
| --- | --- |
| No | Atribut IPA |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20a | **Lokasi bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu dan pencahayaan** |
| Kondisi cuaca pada lokasi bangunan |
| Arah hadap (orientasi) bangunan |
| **Upaya reduksi panas sekitar bangunan** |
| Penggunaan perkerasan keliling bangunan  yang tidak memantulkan panas (Heat Island  Effect) |
| Penggunaan vegetasi (softscape) yang bebas  dari bangunan taman (hardscape) |
| Penggunaan material atap bangunan di sekitar gedung yang tidak memantulkan panas (Heat  Island Effect) |
| **Denah bangunan (tata letak ruang) yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan** |
| Letak ruangan mendukung kenyamanan suhu dalam ruang |
| Letak ruangan memberikan penerangan alami  yang nyaman |
| Luasan ruang mendukung kenyamanan suhu dalam ruang |
| Luasan ruang memberikan penerangan alami  yang nyaman |
| **Bentuk bangunan (Arsitektur) yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan** |
| Bentuk atap |
| Material atap mereduksi panas |
| Bentuk/konstruksi dinding luar bangunan |
| Jenis material dinding luar bangunan yang digunakan |
| Warna material dinding luar bangunan yang  digunakan |
| Bentuk elemen penghalang panas |
| Bentuk elemen penghalang silau cahaya |
| **Desain struktural dan selubung bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu** |
| Luas bukaan jendela/pintu atau bukaan udara  lain di dinding untuk mendapatkan udara alami (ventilasi) |
| Bentuk atau sistem konstruksi bukaan  jendela/pintu atau bukaan udara lain di dinding untuk mendapatkan udara alami (ventilasi) |
| Luas bukaan di atap atau langit-langit untuk  mendapatkan udara alami (ventilasi) |
| Bentuk atau sistem konstruksi bukaan di atap atau langit-langit untuk mendapatkan udara  alami (ventilasi) |
| **Desain struktural dan selubung bangunan yang mempengaruhi kenyamanan** |

20

21

22

23

24

25

26

27

28

|  |  |
| --- | --- |
|  | **pencahayaan** |
| Luas bukaan di dinding (jendela/pintu,  bouvenlicht, atau lobang cahaya lain) untuk mendapatkan terpaan sinar matahari (fenetrasi dinding) |
| Bentuk atau sistem konstruksi bukaan untuk mendapatkan terpaan sinar matahari dinding  (fenetrasi dinding) |
| Luas bukaan di atap atau langit-langit untuk mendapatkan terpaan sinar matahari (fenetrasi  atap) |
| Bentuk atau sistem konstruksi bukaan untuk mendapatkan terpaan sinar matahari atap  (fenetrasi atap) |
| **Interior Ruang yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan** |
| Bentuk/konstruksi dinding di dalam ruang |
| Jenis material dinding di dalam ruang yang  digunakan |
| Warna material dinding di dalam ruang yang digunakan |
| Bentuk/konstruksi lantai |
| Jenis material lantai yang digunakan |
| Warna material lantai yang digunakan |
| Bentuk/konstruksi langit-langit (plafon) |
| Jenis material langit-langit (plafon) yang  digunakan |
| Warna material langit-langit (plafon) yang digunakan |
| Bentuk perabot dalam ruang |
| Bahan material finishing perabot ruang |
| Warna perabot di dalam ruang |
| Penggunaan elemen interior penghalang  panas/cahaya dari luar (tirai, blind, dll) |
| **Sistem penghawaan dan pencahayaan buatan** |
| Sistem penghawaan buatan untuk  pendinginan ruang yang nyaman |
| Sistem penghawaan buatan untuk pendinginan ruang (AC, kipas angin, dll)  yang terintegrasi dengan ventilasi alami |
| Sistem pencahayaan listrik tidak membuat peningkatan panas internal |
| Pencahayaan listrik diintegrasikan dengan  sinar matahari |

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

Berdasarkan tinjauan tipologi perkembangan bangunan kampus, tujuan pengambilan lokasi: (1) Malang (lokasi peneliti): Gedung Fakultas Hukum di Kampus UB sebagai gambaran lingkungan kampus dengan pengembangan fisik gedung bertingkat tinggi/vertikal dan tipologi bangunan gedung perkuliahan sebagian besar kampus di Indonesia, (2) Surabaya: Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Kampus ITS untuk gambaran keragaman kondisi geografis (pantai/panas), tipologi bangunan bertingkat

rendah dengan denah memanjang, (3) Banda Aceh (utara): Gedung Perkuliahan Fakultas Ekonomu Kampus Unsyiah, sebagai gambaran tipologi bangunan bertingkat rendah dengan denah memanjang, dan (4) Manado (utara): Gedung Fakultas Pasca Sarjana Unsrat yang merupakan tipologi gedung bertingkat tinggi/vertikal. Hasil analisis IPA pada 4 (empat) lokasi tersebut dikelompokan pada dua wilayah yang terletak di utara khatulistiwa (berada pada posisi garis Lintang Utara) dan di selatan khatulistiwa (posisi di garis Lintang Selatan). Hal ini berkaitan dengan diperlukannya data respon bangunan terhadap iklim regional.

Hasil analisis menunjukan atribut-atribut penting yang terletak pada kuadran dengan rangking I dan II, serta beberapa atribut yang mempunyai tingkat persepsi tidak terlalu penting, yaitu atribut yang mendapatkan rangking III dan IV. Atribut dengan rangking I merupakan atribut dengan tingkat kepentingan yang tinggi tetapi denga kinerja yang rendah sehingga harus diprioritaskan (*concentrate here*). Atribut rangking II merupakan atribut dengan kepentingan yang tinggi tetapi juga telah memiliki kinerja yang baik, sehingga merupakan atribut yang harus dipertahankan (*keep up the good work*). Atribut dengan angka rangking III dengan prioritas rendah (*Low Priority*) adalah atribut- atribut yang mempunyai tingkat persepsi atau kinerja aktual yang rendah sekaligus dianggap tidak terlalu penting dan atau terlalu diharapkan oleh pengguna bangunan, sehingga tidak perlu memprioritaskan atau terlalu memberikan perhatian pada faktor-faktor tersebut. Atribut dengan angka rangking IV adalah atribut yang dianggap terlalu berlebih (*Possibly Overkill*). Atribut-atribut tersebut dianggap tidak terlalu penting dan atau tidak terlalu diharapkan. Hasil pemeringkatan atribut-atribut yang penting mempengaruhi kinerja termal ( rangking I dan II) ditunjukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Atribut-atribut dengan Kategori

Penting

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Atribut IPA | Ranking | |
| Selatan | Utara |
| 1 | **Lokasi bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu dan pencahayaan** |  |  |
| Kondisi cuaca pada lokasi bangunan | I | I |

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12 Hasil penilaian atribut-atribut yang

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Arah hadap (orientasi)  bangunan | II | II |
| Upaya reduksi panas sekitar bangunan |  |  |
| Jumlah vegetasi (*softscape*)  yang bebas dari bangunan taman (*hardscape*) | I | I |
| Material atap bangunan  sekitar yang tidak memantulkan panas (*Heat Island Effect*) | II | I |
| **Denah bangunan (tata letak ruang) yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan** |  |  |
| Letak ruangan mendukung kenyamanan suhu ruang | II | II |
| Letak ruangan memberikan  kenyamanan penerangan alami | I | II |
| Luasan ruang mendukung  kenyamanan suhu ruang | II | II |
| Luasan ruang memberikan kenyamanan penerangan  alami | II | I |
| **Bentuk bangunan (Arsitektur) yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan** |  |  |
| Material atap mereduksi panas | II | I |
| Bentuk/konstruksi dinding  luar bangunan | II | IV |
| Jenis material dinding luar bangunan yang digunakan | II | II |
| Bentuk elemen penghalang  panas | III | I |
| Bentuk elemen penghalang silau cahaya | I | III |
| **Desain struktural dan**  **selubung bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu** |  |  |
| Luas bukaan jendela/pintu atau bukaan udara lain di  dinding untuk mendapatkan udara alami (ventilasi) | II | II |
| Bentuk atau sistem  konstruksi bukaan jendela/pintu atau bukaan udara lain di dinding untuk mendapatkan udara alami (ventilasi) | I | I |
| Luas bukaan di atap atau langit-langit untuk  mendapatkan udara alami  (ventilasi) | I | III |

13 ditetapkan sebagai atribut penting selanjutnya dikombinasikan dengan kriteria standar dalam

MCDM 23. Atribut dan kriteria tersusun menjadi kriteria-kriteria utama dan sub-sub kriteria yang akan dianalisis dengan model AHP dalam MCDM 23 tersebut. Untuk penilaian tingkat kepentingan antara kriteria

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 17  18  19  20  21  22  23  24 | Bentuk atau sistem konstruksi bukaan di atap atau langit-langit untuk  mendapatkan udara alami  (ventilasi) | I | III |
| **Desain struktural dan**  **selubung bangunan yang mempengaruhi kenyamanan pencahayaan** |  |  |
| Luas bukaan di dinding untuk mendapatkan terpaan  sinar matahari (fenetrasi dinding) | III | I |
| Interior Ruang yang  berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan |  |  |
| Jenis material dinding di dalam ruang yang  digunakan | III | II |
| Penggunaan elemen interior penghalang panas/cahaya  dari luar (tirai, blind, dll) | I | III |
| Sistem penghawaan dan pencahayaan buatan |  |  |
| Sistem penghawaan buatan  untuk pendinginan ruang yang nyaman | II | II |
| Sistem penghawaan buatan  yang terintegrasi dengan ventilasi alami | II | II |
| Sistem pencahayaan listrik  tidak membuat peningkatan panas internal | II | II |
| Pencahayaan listrik  diintegrasikan dengan sinar matahari | II | II |

14 dengan metode AHP digunakan pertimbangan ahli (expert judgment). Ahli yang digunakan adalah: (1) Tenaga ahli arsitektur bidang

desain dan peneliti arsitektur teknologi/sain

15 bangunan, (2) Tenaga ahli arsitektur dan building engineering, peneliti bidang rekayasa

konstruksi berkelanjutan, serta (3) Tenaga ahli arsitektur profesional dan peneliti bidang desain arsitektur dan konstruksi bangunan.

16 Hasil analisis AHP menunjukan bobot tingkat kepentingan setiap kriteria baik antar

kriteria utama (Tanel 4), maupun bobot rinci sub-sub kriteria (Tabel 5-10).

Tabel 3. Hasil Analisis untuk Kriteria Utama

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Biaya siklus hidup | Penggunaan sumber daya | Beban lingkungan | Konteks  Lingkungan | Desain Arsitektur | Desain Sistem  Pencahaan | Desain Sistem kenyamanan udara |
| E-1 | 0,174 | 0,110 | 0,252 | 0,347 | 0,048 | 0.022 | 0,048 |
| E-2 | 0,248 | 0,363 | 0,092 | 0,096 | 0,132 | 0,033 | 0,035 |
| E-3 | 0.174 | 0,078 | 0,009 | 0,131 | 0,244 | 0,186 | 0,177 |
| Av | 0,199 | 0,184 | 0,118 | 0,191 | 0,141 | 0,080 | 0,087 |

Tabel 5. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk

Kriteria Beban Lingkungan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Emisi CO2-proses konstruksi | Rata-rata emisi CO2 saat operasional | Emisi SO2-proses konstruksi | Rata-rata emisi SO2 saat operasional | Emisi NOx -proses konstruksi | Rata-rata emisi NOx saat operasional |
| E-1 | 0,026 | 0,148 | 0,215 | 0,425 | 0,041 | 0,118 |
| E-2 | 0,440 | 0,320 | 0,111 | 0,023 | 0,078 | 0,029 |
| E- 3 | 0.350 | 0,120 | 0,208 | 0,062 | 0,130 | 0,130 |
| Av | 0,272 | 0,196 | 0,178 | 0,179 | 0,083 | 0,092 |

Bobot tingkat kepentingan pada kriteria- kriteria utama adalah: (1). Biaya siklus hidup

19.9%, (2) Konteks Lingkungan 19.1%, (3) Penggunaan sumber daya 18.4%, (4) Desain

Arsitektur 14.1%, (5) Beban lingkungan

11.8%, (6) Desain Sistem kenyamanan udara

8.7%, dan (7) Desain Sistem Pencahaan 8.0%.

Bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria biaya siklus hidup bangunan adalah: (1) Biaya konstruksi 61,2%, (2) Rata-rata biaya operasional 19,4%, dan (3) Rata-rata biaya perawatan dan pemeliharaan

19,4%

bahan bakar

Tabel 4. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Penggunaan | Penggunaan | Penggunaan air | Material | Lahan/tanah |
| E-1 | 0,314 | 0,477 | 0,116 | 0,034 | 0,059 |
| E-2 | 0,508 | 0,334 | 0,059 | 0,034 | 0,064 |
| E-3 | 0.108 | 0,024 | 0,108 | 0,379 | 0,379 |
| Av | 0,310 | 0,278 | 0,094 | 0,149 | 0,167 |

listrik

konstruksi

Kriteria Penggunaan Sumber Daya

Hasil analisis sesuai Tabel 5, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria beban lingkungan adalah: (1) Emisi CO2-proses konstruksi 27,2%, (2) Rata- rata emisi CO2 saat operasional 19,6%, (3) Rata-rata emisi SO2 saat operasional 17,9%, (4) Emisi SO2-proses konstruksi 17,8%, (5) Rata-rata emisi NOx saat operasional

9,2%,dan (6) Emisi NOx -proses konstruksi

8,3%.

Tabel 6. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk

bangunan

yang tidak memantulkan

Konteks Lingkungan

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Voter | Kondisi cuaca pada lokasi | Vegetasi (*softscape*) yang bebas dari bangunan | Material sekitar gedung panas (*Heat Island Effect*) |
| E-1 | 0,715 | 0,218 | 0,067 |
| E- 2 | 0,669 | 0,243 | 0,088 |
| E- 3 | 0.519 | 0,309 | 0,178 |
| Av | 0,634 | 0,255 | 0,111 |

Hasil analisis sesuai Tabel 4, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria penggunaan sumber daya adalah: (1) Penggunaan listrik 31,0%, (2) Penggunaan bahan bakar 27,8%, (3) Penggunaan lahan/tanah 16,7%, (4) Penggunaan Material konstruksi 14,9%, dan (5) penggunaan air

9,4%.

Hasil analisis sesuai Tabel 6, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria penggunaan sumber daya adalah: (1) Kondisi cuaca pada lokasi bangunan

63,4%, (2) Vegetasi (*softscape*) yang bebas

dari bangunan 25,5%, dan (3) Material sekitar gedung yang tidak memantulkan panas (*Heat Island Effect*) 11,1%.

Tabel 7. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk

Desain Arsitektur

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Arah hadap (orientasi)  bangunan | Skala, proporsi dan volume bangunan | Material atap mereduksi panas | Konstruksi *façade*/  dinding luar bangunan | Elemen penghalang panas dan silau | Konstruksi untuk bukaan udara (ventilasi) | Konstruksi untuk bukaan pencahayaan (ventilasi) |
| E- 1 | 0,440 | 0,042 | 0,170 | 0,117 | 0,109 | 0,077 | 0,045 |
| E- 2 | 0,470 | 0,019 | 0,074 | 0,111 | 0,125 | 0,072 | 0,129 |
| E-3 | 0.023 | 0,156 | 0,022 | 0,505 | 0,105 | 0,099 | 0,090 |
| Av | 0,311 | 0,072 | 0,089 | 0,244 | 0,113 | 0,083 | 0,088 |

ruangan memberikan kenyamanan penerangan alami 6,5%.

Tabel 9. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Letak ruangan mendukung kenyamanan suhu ruang | Luas ruangan mendukung kenyamanan suhu ruang | Material dinding di dalam ruang tidak membuat peningkatan panas internal | Penggunaan elemen interior penghalang panas/cahaya dari luar | Sistem penghawaan buatan yang terintegrasi dengan ventilasi alami |
| E-1 | 0,320 | 0,143 | 0,114 | 0,117 | 0,276 |
| E-2 | 0,477 | 0,050 | 0,136 | 0,251 | 0,085 |
| E-3 | 0.508 | 0,034 | 0,234 | 0,053 | 0,172 |
| Av | 0,435 | 0,076 | 0,161 | 0,150 | 0,178 |

Desain Sistem Kenyamanan Termal

Hasil analisis sesuai Tabel 7, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria desain arsitektur adalah: (1) Arah hadap/orientasi bangunan 31,1%, (2) Konstruksi *façade*/ dinding luar bangunan

24,4%, (3) Elemen penghalang panas dan silau

11,3%, (4) Material atap mereduksi panas

8,9%, (5) Konstruksi untuk bukaan pencahayaan (ventilasi) 8,8%, (6) Konstruksi untuk bukaan udara (fenetrasi) 8,3%, dan (7) Skala, proporsi dan volume bangunan 7,2%.

Tabel 8. Hasil Analisis Sub-sub Kriteria untuk Desain Sistem Pencahayaan

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Voter | Letak ruangan memberikan kenyamanan penerangan alami | Luas ruangan  penerangan alami | Integrasi pencahayaan listrik dengan pencahayaan alami | Sistem pencahayaan listrik tidak membuat  internal |
| E-1 | 0,599 | 0,054 | 0,238 | 0,109 |
| E-2 | 0,705 | 0,070 | 0,130 | 0,096 |
| E-3 | 0.237 | 0,071 | 0,634 | 0,058 |
| Av | 0,514 | 0,065 | 0,334 | 0,088 |

memberikan kenyamanan

peningkatan panas

Hasil analisis sesuai Tabel 9, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria desain sistem kenyamanan termal adalah: (1) Letak ruangan mendukung kenyamanan suhu ruang 43,5%, (2) Sistem penghawaan buatan yang terintegrasi dengan ventilasi alami 17,8%, (3) Material dinding di dalam ruang tidak membuat peningkatan panas internal 16,1%, (4) Penggunaan elemen interior penghalang panas/cahaya dari luar

15,0%,dan (5) Luas ruangan mendukung kenyamanan suhu ruang 7,6%.

Nilai keseluruhan bobot kriteria direkapitulasi seperti pada tabel 11.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Kritiria Utama dan Sub  Kriteria | Bobot dalam  Kriteria Utama (%) | Bobot  Rinci  Sub Sriteria pada Keselur uhan (%) |
| **1**  1.1  1.2  1.3  **2**  2.1  2.2  2.3  2.4  2.5  **3**  3.1 | **Biaya siklus hidup** | **19,9** |  |
| Biaya konstruksi | 61,2 | 12.18 |
| Rata-rata biaya operasional | 19,4 | 3.86 |
| Rata-rata biaya perawatan  dan pemeliharaan | 19,4 | 3.86 |
| **Pemanfaatan sumber daya alam** | **18,4** |  |
| Penggunaan listrik | 31,0 | 5.71 |
| Penggunaan bahan  bakar/fuel | 27,8 | 5.12 |
| Penggunaan air | 9,4 | 1.73 |
| Material konstruksi | 14,9 | 2.74 |
| Lahan/tanah | 16,7 | 3.07 |
| **Beban lingkungan** | **11,8** |  |
| Emisi CO2-proses | 27,2 | 3.21 |

Tabel 10. Rekapitulasi Bobot Kriteria

Hasil analisis sesuai Tabel 8, menunjukan bobot tingkat kepentingan sub-sub kategori pada kriteria desain sistem pencahayaan adalah: (1) Letak ruangan memberikan kenyamanan penerangan alami 51,4%, (2) Integrasi pencahayaan listrik dengan pencahayaan alami 33,4%, (3) Sistem pencahayaan listrik tidak membuat peningkatan panas internal 8,8%, dan (4) Luas

3.2

3.3

3.4

3.5

3.6

**4**

4.1

4.2

4.3

**5**

5.1

5.2

5.3

5.4

5.5

5.6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | konstruksi |  |  |
| Rata-rata emisi CO2 saat operasional bangunan | 19,6 | 2.31 |
| Emisi SO2-proses  konstruksi | 17,8 | 2.1 |
| Rata-rata emisi SO2 saat operasional bangunan | 17,9 | 2.11 |
| Emisi NOx -proses konstruksi | 8,3 | 0.98 |
| Rata-rata emisi NOx saat  operasional bangunan | 9,2 | 1.09 |
| **Konteks Lingkungan** | **19,1** |  |
| Kondisi cuaca pada lokasi  bangunan | 63,4 | 12.11 |
| Vegetasi (*softscape*) yang  bebas dari bangunan | 25,5 | 4.87 |
| Material bangunan di  sekitar gedung yang tidak memantulkan panas (*Heat Island Effect*) | 11,1 | 2.12 |
| **Desain Arsitektur** | **14,1** |  |
| Arah hadap (orientasi)  bangunan | 31,1 | 4.39 |
| Skala, proporsi dan volume bangunan | 7,2 | 1.02 |
| Material atap mereduksi  panas | 8,9 | 1.26 |
| Konstruksi façade/dinding luar bangunan | 24,4 | 3.44 |
| Elemen penghalang panas dan silau | 11,3 | 1.59 |
| Konstruksi bukaan  jendela/pintu atau bukaan  udara (ventilasi) | 8,3 | 1.17 |
| Konstruksi bukaan  jendela/pintu atau bukaan cahaya (fenetrasi) | 8,8 | 1.24 |
| **Desain Sistem Pencahaan** | **8,0** |  |
| Letak ruangan memberikan  kenyamanan pencahayaan alami | 51,4 | 4.11 |
| Luas ruangan memberikan  kenyamanan pencahayaan alami | 6,5 | 0.52 |
| Integrasi pencahayaan  listrik dengan pencahayaan alami | 33,4 | 2.67 |
| Sistem pencahayaan listrik tidak membuat peningkatan  panas internal | 8,8 | 0.71 |
| **Desain Sistem**  **kenyamanan udara** | **8,7** |  |
| Letak ruangan mendukung  kenyamanan suhu ruang | 43,5 | 3.79 |
| Luas ruangan mendukung  kenyamanan suhu ruang | 7,6 | 0.66 |
| Material dinding di dalam  ruang tidak membuat peningkatan panas internal | 16,1 | 1.4 |
| Penggunaan elemen interior  penghalang panas/cahaya dari luar (tirai, blind, dll) | 15,0 | 1.31 |
| Sistem penghawaan buatan yang terintegrasi dengan  ventilasi alami | 17,8 | 3.79 |

5.7

**6**

6.1

6.2

6.3

6.4

**7**

7.1

7.2

7.3

7.4

7.5

Kriteria biaya siklus hidup bangunan dinilai sebagai kriteria pertama yang paling mempengaruhi kinerja energi pada bangunan. Kriteria biaya siklus hidup bangunan merupakan kriteria tentang biaya bangunan mulai dari proses konstruksi hingga perkiraan bangunan tersebut habis masa pakainya. Kriteria biaya siklus hidup merupakan perhitungan biaya siklus hidup bangunan yang telah mempertimbangkan tingkat kepentingan sub kriteria aspek biaya konstruksi (61,2%), biaya operasional (19,4), dan biaya pemeliharaan sebuah bangunan (19,4).

Kriteria penting kedua adalah kriteria kondisi lingkungan yang berkaitan dengan bagaimana kondisi lingkungan akan mempengaruhi kinerja termal dan penggunaan energi pada sebuah bangunan. Prioritas kepentingan kriteria konteks lingkungan meliputi: kondisi iklim lingkungan 63,4 %, lahan terbuka dan vegetasi di sekitar bangunan

25,5 %, serta material di sekitar lingkungan uang mempengaruhi suhu lingkungan dan

pencahayaan 11,1 %. Perhitungan konsumsi energi dilakukan dengan menghitung besarnya Nilai Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Bangunan Gedung sesuai dengan SNI 03-

6196-2000 tentang Audit Energi. IKE untuk efisiensi energi pada bangunan pendidikan sebesar 165-295 kWh/m2/Tahun (Gunawan dkk, 2012).

Kriteria pemanfaatan sumber-sumber daya alam merupakan kriteria untuk menilai dan mengevaluasi seberapa jauh bangunan menggunakan sumber-sumber daya alam. Kriteria ini dinilai sebagai kriteria penting ketiga yang mempengaruhi kinerja energi pada bangunan. Prioritas tingkat kepentingan meliputi: penggunaan listrik (31,0%), penggunaan bahan bakar minyak (27,8%), potensi pemanfaatan lahan dan lingkungan alam (16,7%), pemanfaatan material alam untuk konstruksi (14,9%), hingga penggunaan air (9,4%). Bangunan tentunya menjadi bagian dari beban lingkungan hidup yang besar, dibuktikan oleh data bahwa bangunan menghasilkan 50 persen total pengeluaran energi di Indonesia dan lebih dari 70 persen konsumsi listrik keseluruhan. Bangunan juga bertanggung jawab bagi 30 persen emisi gas rumah kaca, serta menggunakan 30 persen bahan baku yang diproduksi.

Kriteria penting keempat adalah kriteria desain arsitektur yang cukup signifikan berpengaruh terhadap efisiensi konsumsi energi adalah konstruksi dinding luar bangunan. Kriteria konstruksi dinding luar bangunan dapat ditentukan dberdasarkan Menghitung Nilai Perpindahan Thermal Menyeluruh (Overall Thermal Transfer Value

= OTTV) sesuai SNI 03-6389-2000 tentang Selubung Bangunan. Konsep OTTV mencakup tiga elemen dasar perpindahan

panas melalui selubung luar bangunan yaitu: konduksi panas melalui dinding tidak tembus cahaya, radiasi matahari melalui kaca, dan konduksi panas melalui kaca. Standar OTTV untuk selubung bangunan ramah lingkungan adalah 45 Watt/m2 (Juwana, 2005).

Kondisi termal bangunan seperti dalam kajian teoritik merupakan faktor utama yang akan mempengaruhi kinerja energi bangunan khususnya berkaitan dengan sistem pencahayaan dan kenyamanan pengkondisian udara pada bangunan. Prioritas kepentingan sub kriteria meliputi: orientasi bangunan 31,1

%, konstruksi fasad yang bisa mereduksi panas

24,4 %, elemen penghalang panas dan cahaya

11,3 %, material atap yang mereduksi panas

8,9 %, konstruksi bukaan untuk penetrasi cahaya 8,8 %, konstruksi bukaan dinding untuk ventilasi 8,3 %, serta skala dan volume bangunan 7,2 %.

Kriteria penting kelima yang mempengaruhi kinerja energi bangunan adalah kriteria beban lingkungan adalah kriteria tentang bagaimana bangunan memberi beban yang mengakibatkan kerusakan lingkungan khususnya beban-beban polusi emisi CO2, SO2, dan NOx. Prioritas tingkat kepentingan hasil analisis adalah: emisi CO2 untuk konstruksi 27,2 %, emisi CO2 pada saat operasional 19,6 %, emisi SO2 pada saat operasional 17,9 %, emisi SO2 untuk konstruksi 17,8 %, emisi NOx pada saat operasional 9,2 %, dan emisi NOx untuk konstruksi 8,3 %.

Kriteria penting keenam dan ketujuh adalah sistem penghawaan dan sistem pencahayaan. Kriteria sistem penghawaan dengan prioritas: desain letak ruangan untuk kenyamanan udara alami 43,5 %, integrasi penghawaan buatan dengan alamiah 17,8 %, pemilihan material dinding interior untuk kenyamanan suhu 16,1 %, penambahan

elemen interior penghalang panas atau cahaya luar 15,0 %, serta perhitungan luas ruangan yang mendukung kenyamanan suhu 7,6 %. Sistem penghawaan alamiah sesuai SNI 03-

6572-2001tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada

bangunan gedung. Kriteria sistem penghawaan

buatan antara lain dengan menentukan COP peralatan pengkondisian udara yang digunakan, sesuai dengan SNI 03-6390-2000 tentang Konservasi Energi Sistem Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung. COP (Coefficient Of Performance) adalah angka perbandingan antara laju aliran kalor yang dikeluarkan dari sistem dengan laju aliran energi yang harus dimasukkan ke dalam sistem yang bersangkutan, untuk sistem pendinginan lengkap.

Sistem pencahayaan merupakan kriteria penting yang mempengaruhi penggunaan energi pada bangunan karena berkaitan dengan penunjang utama aktivitas dalam gedung berupa kenyamanan penglihatan untuk bekerja. Kriteria ini dapat dicapai melalui: desain letak ruangan memberikan penerangan alami yang nyaman (51,4%), pencahayaan listrik yang diintegrasikan dengan sinar matahari (33,4%), sistem pencahayaan listrik tidak membuat peningkatan panas internal (8,8%), dan perhitungan luas ruangan yang memberikan penerangan alami yang nyaman (6,5%).

Dalam SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami disebutkan bahwa minimal 30% luas lantai yang digunakan untuk bekerja mendapatkan intensitas cahaya alami minimal sebesar 300 lux. Kriteria sistem pencahayaan dinilai dengan cara menentukan tingkat pencahayaan (iluminasi) dan kebutuhan daya listrik untuk pencahayaan buatan seuai SNI 03-6197-2011 tentang Konservasi Energi Sistem Pencahayaan pada Bangunan Gedung. Untuk ruang-ruang administrasi standar tingkat pencahayaan sebesar 350 lux dengan kebutuhan daya listriknya sebesar 15

Watt/m2, sedangkan untuk ruang-ruang laboratorium dan studio penunjang fasilitas

pendidikan sebesar 750 lux. Untuk pencahayaan buatan disyaratkan untuk menggunakan lampu dengan daya pencahayaan lebih hemat sebesar 15% daripada daya pencahayaan yang tercantum

dalam SNI 03 6197-2011 dan menggunakan

100% ballast elektronik

**5. KESIMPULAN**

Kriteria penting faktor-faktor desain bangunan yang mempengaruhi kinerja energi pada bangunan fasilitas pendidikan tinggi di Indonesia tersusun menjadi 7 (tujuh) kriteria utama dan 33 sub kriteria. Tingkat prioritas kepentingan kriteria utama adalah: 1) Biaya siklus hidup bangunan dengan prosentase tingkat kepentingan 19,9 %, 2) Kondisi lingkungan sebesar 19,1 %, 3) Penggunaan sumber daya sebesar 18.4 %, 4) Desain arsitektur sebesar 14,1 %, 5) Beban lingkungan sebesar 11,8 %, 6) Desain sistem kenyamanan udara sebesar 8,7 %, dan 7) Desain sistem pencahayaan sebesar 8,0 %. Sub-sub kriteria terpenting pada setiap kriteria utama yang sangat mempengaruhi kinerja energi antara lain: aspek biaya konstruksi, penggunaan listrik, emisi CO2 untuk konstruksi, kondisi iklim lingkungan, orientasi bangunan, desain letak ruangan untuk kenyamanan penerangan alami, dan desain letak ruangan untuk kenyamanan udara alami.

Bobot persentase meliputi bobot untuk kriteria utama yang juga mencakup rincian nilai persentase bobot sub-kriteria. Nilai persentase bobot kepentingan kriteria desain akan digunakan untuk menghitung tingkat kinerja energi di gedung-gedung fasilitas pendidikan tinggi.

**6. REFERENSI**

Ariestadi, D., et al. 2013. Perangkat Analisis Kinerja Energi Bangunan pada Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi sebagai Upaya Mewujudkan Konstruksi Berkelanjutan. Laporan Penelitian Hibah Tahap I, LPPM UM, Tidak dipublikasikan.

Balcomb, J. D. 2001. MCDM-23 *Users Manual. Sub-Task C of the International Energy Agency Solar Heating and Cooling Task 23*, National Renewable Energy Laboratory Center for Buildings and Thermal Systems. Golden, CO 80401 USA. Gunawan, B., & Tim. 2012. Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia, Energy Efficiency

and Conservation Clearing House Indonesia, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya

Mineral Indonesia, Danish Energy

Management A/S. Jakarta.

Juwana, J.S. 2005. Panduan Sistem Bangunan

Tinggi untuk Arsitek dan Praktisi

Bangunan,”, Penerbit Erlangga. Jakarta. Mahaputri, H.E., 2007, Kajian Kinerja Termal

Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi

dengan Metode Steady State, (Studi Kasus: Gedung Kuliah Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang), Jurnal Bangunan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang

Mazria, Edward, 2006*, Background Sheet on*

*AIA - Sustainable Design Task Force and its Committee on the Environment*,

[www.architecture2030.org](http://www.architecture2030.org)

UNEP. 2002. Agenda 21 on Sustainable Construction, CIB & UNEP-IETC, United Nation Environment Program / UNEP.

USGBC. 2009. LEED 2009 for Existing Buildings: Operations & Maintenance Rating System, The U.S. Green Building Council, Inc.

Suryabrata, J. A., (2000), “Perancangan Bioklimatik: Sebuah Strategi untuk mewujudkan Pembangunan yang Berkelanjutan”, Prosiding SENVAR 2000

International Seminar 23-24 October 2000, InstitutTeknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya

SNI 03-6196-2000 tentng Prosedur Audit

Energi Pada Bangunan Gedung.

SNI 03-6389-2000 tentang Selubung

Bangunan.

SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara

Perancangan Sistem Pencahayaan Alami

SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara

Perancangan Sistem Ventilasi dan

Pengkondisian Udara pada Bangunan

Gedung.

SNI 03-619‐2011 tentang Konservasi Energi

pada Sistem Pencahayaan.