

SKRIPSI
PENGARUH DESAIN SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KINERJA
ENERGI PENDINGIN

Disusun dan diajukan oleh

MUFLIHA MUKHTAR

D051171306



DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022

SKRIPSI
PENGARUH DESAIN SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KINERJA
ENERGI PENDINGIN

Disusun dan diajukan oleh

MUFLIHA MUKHTAR
D051171306

Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Arsitektur
pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH DESAIN SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KINERJA ENERGI
PENDINGIN**

Disusun dan diajukan oleh

Mufliha Mukhtar
D051171306

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 11 Januari 2022

Menyetujui

Pembimbing I

**Prof. Ir. H. Baharuddin Hamzah, ST.,
M.Arch., Ph.D**
NIP. 19690308 199512 1 001

Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, ST., MT
NIP. 19700810 199802 1 001

Mengetahui



Program Studi Arsitektur

Dr. Ir. H. Edward Syarif, MT.
NIP. 19690612 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mufliha Mukhtar
NIM : D051171306
Program Studi : Teknik Arsitektur
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

PENGARUH DESAIN SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KINERJA ENERGI PENDINGIN

Adalah karya tulis saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 11 Januari 2022

Yang Menyatakan


Mufliha Mukhtar

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik bantuan moril maupun materi. Pada kesempatan ini, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Ir. H. Baharuddin Hamzah, S.T., M.Arch., Ph.D. sebagai pembimbing I dan Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, S.T., M.T. sebagai pembimbing II atas segala ketulusan hati membimbing dan memberikan motivasi, nasehat, dan arahan bagi penulis sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Seluruh tim dosen Departemen Teknik Arsitektur Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis selama perkuliahan, memberikan ilmu dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis hingga tugas akhir ini diselesaikan.
3. Staf dan pegawai program studi Teknik Arsitektur Universitas Hasanuddin.
4. Teman-teman Program Studi Teknik Arsitektur Angkatan 2017 yang telah menjadi saudara dan banyak membantu penulis selama di bangku perkuliahan.

Secara khusus pernyataan terima kasih yang tak terhingga penulis persembahkan kepada kedua orang tua, Ayahanda Mukhtar Nadil dan Ibunda Rohana, saudara, dan seluruh keluarga yang selalu tulus dan tak pernah putus dalam

memberikan doa, kasih sayang, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Sepenuhnya Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan, hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis. Sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun, semoga dikemudian hari penulis dapat memperbaiki segala kekurangan dan dapat memberi kebermanfaatan bagi banyak pihak.

Makassar, 11 Januari 2022

Penulis

ABSTRAK

MUFLIHA MUKHTAR, *Pengaruh Desain Selubung Bangunan terhadap Kinerja Energi Pendingin* (dibimbing oleh Baharuddin Hamzah dan Rosady Mulyadi)

Pada umumnya, bangunan gedung mengonsumsi sekitar sepertiga dari total konsumsi energi dunia. Sebagian besar energi pada bangunan di Indonesia digunakan oleh sistem pengkondisian udara. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir pemborosan energi pada sistem penghawaan udara bangunan adalah dengan menurunkan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) untuk mengurangi panas eksternal yang masuk melalui selubung bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh geometri, orientasi, dan WWR (*Window to Wall Ratio*) terhadap OTTV dan konsumsi energi bangunan melalui proses perhitungan manual dan simulasi pada *software Autodesk Ecotect Analysis*. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan mengambil Menara Bosowa yang berlokasi di Makassar sebagai objek penelitian untuk dijadikan sebagai variabel kontrol dalam membuat alternatif model bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi geometri dan orientasi pada bangunan cukup memengaruhi, sedangkan WWR memberikan pengaruh besar terhadap nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin bangunan. Semakin kecil rasio antara panjang dan lebar alas serta semakin kecil persentase WWR pada bangunan maka semakin kecil pula nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin bangunan. Dari penelitian ini, kombinasi geometri, orientasi, dan WWR paling efektif untuk diaplikasikan pada bangunan ialah kombinasi antara geometri 1:1, WWR 15%, dan orientasi selatan.

Kata kunci: Geometri; Konsumsi energi pendingin; Orientasi; OTTV; WWR.

ABSTRACT

MUFLIHA MUKHTAR, *The Effect of Building Envelope Design on Cooling Energy Performance* (supervised by Baharuddin Hamzah dan Rosady Mulyadi)

Generally, buildings consume around one-third of the world's total energy consumption. Most of the energy in buildings in Indonesia is used by air conditioning systems. One efforts to minimize energy waste in the building's air conditioning system is by lowering OTTV (Overall Thermal Transfer Value) to reduce external heat entering through the building sheath. The study aims to analyze the influence geometry, orientation, and WWR (Window to Wall Ratio) have on OTTV and building energy consumption through manual calculation and simulation processes on Autodesk Ecotect Analysis software. This research uses experimental quantitative methods by taking the Bosowa Tower located in Makassar as the research object to serve as a control variable in making alternative building models. The results showed that geometric and orientation variations in buildings were sufficient affect, while WWR had a major influence to affect OTTV values and cooling energy consumption of the buildings. The smaller the ratio between the length and width of the base and the smaller the percentage of WWR in the building, the smaller the OTTV value and cooling energy consumption of the building. From this study, the most effective combination of geometry, orientation, and WWR to applied to buildings is the combination of 1:1, WWR 15%, and southern orientation.

Keywords: *Cooling load; Geometry; Orientation; OTTV; WWR.*

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 4 |
| C. Tujuan Penelitian | 4 |
| D. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| E. Ruang Lingkup / Batasan Penelitian..... | 5 |
| F. Sistematika Pembahasan | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| A. Bangunan Gedung | 7 |
| 1. Pengertian Bangunan | 7 |
| 2. Pengertian Bangunan Gedung | 8 |
| 3. Fungsi Bangunan Gedung..... | 9 |

| | |
|--|-----------|
| B. Geometri Bangunan | 10 |
| C. Selubung Bangunan | 10 |
| D. Perpindahan Panas..... | 14 |
| 1. Konduksi/Hantaran (<i>Conduction</i>) | 15 |
| 2. Radiasi/Pancaran (<i>Radiation</i>)..... | 16 |
| 3. Konveksi/Ilian (<i>Convection</i>) | 16 |
| E. <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV) | 17 |
| 1. Nilai Perpindahan Termal Menyeluruh..... | 18 |
| 2. Absorbtansi Termal (α) | 19 |
| 3. Transmittans Termal (U) | 21 |
| 4. Beda Temperatur Ekuivalen | 23 |
| 5. Faktor Rerata Radiasi Matahari..... | 23 |
| 6. Koefisien Peneduh (SC) | 24 |
| F. Intensitas Konsumsi Energi..... | 25 |
| G. Beban Konsumsi Energi pada Bangunan | 29 |
| H. Beban Pendinginan | 30 |
| I. Konservasi Energi | 30 |
| 1. Konsep dan Definisi Konservasi..... | 30 |
| 2. Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung..... | 31 |
| J. Studi Pustaka..... | 35 |
| K. Kerangka Konsep | 38 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 39 |
| A. Rancangan Penelitian | 39 |
| B. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian | 39 |
| 1. Lokasi Penelitian..... | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 2. Waktu Penelitian..... | 40 |
| C. Objek Penelitian..... | 40 |
| 1. Data Lokasi Menara Bosowa..... | 41 |
| 2. Data Fisik Menara Bosowa..... | 42 |
| 3. Data Iklim Mikro Menara Bosowa..... | 43 |
| D. Variabel Penelitian..... | 43 |
| 1. Variabel Terikat..... | 43 |
| 2. Variabel Bebas..... | 43 |
| 3. Variabel Kontrol..... | 45 |
| E. Sumber Data..... | 45 |
| 1. Data Primer..... | 46 |
| 2. Data Sekunder..... | 46 |
| F. Instrumen Penelitian..... | 46 |
| G. Teknik Pengumpulan Data..... | 50 |
| H. Teknik Analisis Data..... | 51 |
| I. Kerangka Alur Penelitian..... | 52 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 54 |
| A. Perhitungan OTTV Menara Bosowa..... | 54 |
| B. Perhitungan OTTV Alternatif..... | 58 |
| 1. OTTV pada berbagai Geometri..... | 60 |
| 2. OTTV pada berbagai Orientasi..... | 63 |
| 3. OTTV pada berbagai WWR..... | 69 |
| C. Simulasi Konsumsi Energi Pendingin Menara Bosowa..... | 77 |
| D. Simulasi Konsumsi Energi Pendingin Alternatif..... | 82 |
| 1. Nilai Konsumsi Energi Pendingin pada berbagai Geometri..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| 2. Nilai Konsumsi Energi pada berbagai Orientasi..... | 89 |
| 3. Nilai Konsumsi Energi Pendingin pada berbagai WWR..... | 95 |
| BAB V PENUTUP | 103 |
| A. Kesimpulan..... | 103 |
| B. Saran | 104 |
| DAFTAR PUSTAKA | 105 |
| LAMPIRAN | 109 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk dinding luar dan atap tak tembus cahaya | 19 |
| Tabel 2. 2 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar . | 20 |
| Tabel 2. 3 Nilai resistansi lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap | 21 |
| Tabel 2. 4 Nilai k bahan bangunan..... | 22 |
| Tabel 2. 5 Nilai R lapisan rongga udara..... | 22 |
| Tabel 2. 6 Beda temperatur ekuivalen untuk dinding | 23 |
| Tabel 2. 7 Faktor radiasi matahari (SF, W/m ²) untuk berbagai orientasi ¹⁾ | 24 |
| Tabel 2. 8 Faktor radiasi matahari (SF) untuk daerah Makassar | 24 |
| Tabel 2. 9 Persentase penggunaan energi di gedung..... | 25 |
| Tabel 2. 10 Standar intensitas konsumsi energi | 27 |
| Tabel 2. 11 IKE listrik hasil penelitian ASEAN-USAID | 28 |
| Tabel 2. 12 Standar konsumsi energi listrik pada bangunan..... | 29 |
| Tabel 2. 13 Studi literatur..... | 35 |
| Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan | 40 |
| Tabel 3. 2 Variabel kontrol dan definisi operasional variabel | 45 |
| Tabel 4. 1 Data material dinding Menara Bosowa..... | 54 |
| Tabel 4. 2 Data material kaca Menara Bosowa..... | 54 |
| Tabel 4. 3 Nilai U material W1 dan W2 | 55 |
| Tabel 4. 4 Nilai U material W3..... | 55 |
| Tabel 4. 5 Nilai U material F1 | 56 |
| Tabel 4. 6 TDek material W1 dan W2 | 56 |
| Tabel 4. 7 TDek material W3..... | 56 |
| Tabel 4. 8 Luas selubung tiap orientasi..... | 56 |
| Tabel 4. 9 Konduksi dinding..... | 57 |
| Tabel 4. 10 Konduksi kaca..... | 57 |
| Tabel 4. 11 Radiasi kaca | 57 |
| Tabel 4. 12 Kalkulasi OTTV pada alternatif model bangunan | 59 |
| Tabel 4. 13 Hasil simulasi konsumsi energi pendingin Menara Bosowa | 81 |

| | |
|---|----|
| Tabel 4. 14 Kalkulasi nilai konsumsi energi pendingin alternatif model bangunan | 83 |
| Tabel 4. 15 Kalkulasi nilai konsumsi energi pendingin alternatif model bangunan | 85 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 1. 1 | Komponen perpindahan panas melalui selubung bangunan | 15 |
| Gambar 2. 1 | Kerangka konsep | 38 |
| Gambar 3. 1 | Lokasi Menara Bosowa | 41 |
| Gambar 3. 2 | Menara Bosowa | 42 |
| Gambar 3. 3 | Alternatif-alternatif geometri bangunan | 44 |
| Gambar 3. 4 | Tampilan kerja pada peranti lunak <i>Berkeley Lab Window</i> | 48 |
| Gambar 3. 5 | Tampilan kerja pada peranti lunak <i>Autodesk Ecotect Analysis</i> | 50 |
| Gambar 3. 6 | Alur penelitian | 53 |
| Gambar 4. 1 | Komponen pemasangan ACP pada dinding bata | 54 |
| Gambar 4. 2 | <i>Brick Plaster</i> | 55 |
| Gambar 4. 3 | <i>Reflective glass</i> 8 mm | 55 |
| Gambar 4. 4 | Grafik OTTV alternatif model bangunan | 58 |
| Gambar 4. 5 | Grafik OTTV geometri 1:1 | 60 |
| Gambar 4. 6 | Grafik OTTV geometri 1:2 | 61 |
| Gambar 4. 7 | Grafik OTTV geometri 1:3 | 61 |
| Gambar 4. 8 | Grafik OTTV geometri 1:4 | 62 |
| Gambar 4. 9 | Grafik OTTV geometri 1:5 | 63 |
| Gambar 4. 10 | Grafik OTTV orientasi utara | 63 |
| Gambar 4. 11 | Grafik OTTV orientasi timur laut | 64 |
| Gambar 4. 12 | Grafik OTTV orientasi timur | 65 |
| Gambar 4. 13 | Grafik OTTV orientasi tenggara | 65 |
| Gambar 4. 14 | Grafik OTTV orientasi selatan | 66 |
| Gambar 4. 15 | Grafik OTTV orientasi barat daya | 67 |
| Gambar 4. 16 | Grafik OTTV orientasi barat | 67 |
| Gambar 4. 17 | Grafik OTTV orientasi barat laut | 68 |
| Gambar 4. 18 | Grafik OTTV WWR 15% | 69 |
| Gambar 4. 19 | Grafik OTTV WWR 30% | 69 |
| Gambar 4. 20 | Grafik OTTV WWR 45% | 70 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 21 <i>Setting project</i> | 77 |
| Gambar 4. 22 Model bangunan Menara Bosowa..... | 78 |
| Gambar 4. 23 <i>General settings</i> | 79 |
| Gambar 4. 24 <i>Thermal properties first floor</i> | 79 |
| Gambar 4. 25 <i>Thermal properties 2nd – 23rd floor</i> | 80 |
| Gambar 4. 26 Grafik nilai konsumsi energi pendingin Menara Bosowa..... | 80 |
| Gambar 4. 27 Grafik nilai konsumsi energi pendingin alternatif model bangunan per tahun | 82 |
| Gambar 4. 28 Grafik nilai konsumsi energi pendingin alternatif model bangunan per m ² | 84 |
| Gambar 4. 29 Grafik nilai konsumsi energi pendingin geometri 1:1..... | 86 |
| Gambar 4. 30 Grafik nilai konsumsi energi pendingin geometri 1:2..... | 87 |
| Gambar 4. 31 Grafik nilai konsumsi energi pendingin geometri 1:3..... | 87 |
| Gambar 4. 32 Grafik nilai konsumsi energi pendingin geometri 1:4..... | 88 |
| Gambar 4. 33 Grafik nilai konsumsi energi pendingin geometri 1:5..... | 89 |
| Gambar 4. 34 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi utara | 89 |
| Gambar 4. 35 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi timur laut..... | 90 |
| Gambar 4. 36 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi timur..... | 91 |
| Gambar 4. 37 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi tenggara | 91 |
| Gambar 4. 38 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi selatan | 92 |
| Gambar 4. 39 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi barat daya..... | 93 |
| Gambar 4. 40 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi barat | 93 |
| Gambar 4. 41 Grafik nilai konsumsi energi pendingin orientasi barat laut | 94 |
| Gambar 4. 42 Grafik nilai konsumsi energi pendingin WWR 15% | 95 |
| Gambar 4. 43 Grafik nilai konsumsi energi pendingin WWR 30% | 95 |
| Gambar 4. 44 Grafik nilai konsumsi energi pendingin WWR 45% | 96 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| LAMPIRAN I Perhitungan OTTV Alternatif Model Bangunan | 110 |
| LAMPIRAN II Hasil Simulasi Nilai Konsumsi Energi Pendingin Alternatif Model Bangunan..... | 148 |
| LAMPIRAN III <i>As Build Drawing</i> Denah dan Tampak Menara Bosowa..... | 208 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada tahun 2018, total produksi energi primer yang terdiri dari minyak bumi, gas bumi, batu bara, dan energi terbarukan mencapai 411,6 MTOE (*Million Tonnes of Oil Equivalent*). Sebesar 64% atau 261,4 MTOE dari total produksi tersebut diekspor terutama batu bara dan LNG (*Liquefied Natural Gas*). Selain itu, Indonesia juga melakukan impor energi terutama minyak mentah dan produk bahan bakar minyak (BBM) sebesar 43,2 MTOE serta sejumlah kecil batu bara kalori tinggi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan sektor industri. Total konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) tahun 2018 sekitar 114 MTOE terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2% (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengungkapkan, kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional hingga bulan Juni 2020 mencapai 71 Giga Watt (GW). Angka ini naik 1,3 GW dibandingkan akhir tahun 2019 lalu sebesar 69,7 GW (Pribadi, 2020). Pada tahun 2018 mencapai 64,5 GW atau naik sebesar 3% dibandingkan kapasitas tahun 2017. Kapasitas terpasang pembangkit listrik tahun 2018 sebagian besar berasal dari pembangkit energi fosil khususnya batu bara (50%), diikuti gas bumi (29%), BBM (7%) dan energi terbarukan (14%) (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Sejak tahun 2018 pengembangan pembangkit di Indonesia mulai difokuskan pada pengembangan pembangkit-pembangkit berbasis energi baru terbarukan (EBT) (Pribadi, 2020).

Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM menyatakan bahwa batu bara masih mendominasi porsi bauran energi pada pembangkit tenaga listrik nasional. Hingga Mei 2020, bauran batu bara masih menguasai 63,92% dari pemakaian energi primer untuk memproduksi listrik. Disusul dengan bauran gas sebanyak 18,08%, Energi Baru Terbarukan (EBT) 14,95% dan energi berbasis Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 3,05% (Rahmawati, 2020).

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa sumber pembangkit energi listrik nasional masih didominasi oleh fosil atau sumber energi tak terbarukan. Proses pengambilan, pengolahan, dan penggunaan bahan bakar fosil menjadi energi akan menghasilkan kerusakan lingkungan dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia di sekitarnya. Jika belum ada pengelolaan yang baik dan belum memulai penghematan dalam penggunaan maka semakin hari sumber energi akan semakin berkurang dan tidak menutup kemungkinan akan habis, sehingga perlu adanya suatu usaha konservasi energi listrik dalam rangka mengefisienkan konsumsi energi listrik dengan cara melihat peluang hemat energi.

Bangunan gedung mengonsumsi kurang lebih sepertiga dari total konsumsi energi dunia. Dari total penggunaan energi tersebut, tidak seluruh energi dipakai secara efisien (*Green Building Specialist*, 2019).

Bangunan dan gedung di Indonesia adalah pengguna energi terbesar ketiga, dengan porsi sekitar 30% dari total konsumsi energi nasional. Jika tidak dikelola dengan baik, konsumsi energi dari gedung dan bangunan berpotensi meningkat hingga 40% dari total konsumsi energi pada tahun 2030. Untuk mengurangi emisi sebesar 29 persen sampai dengan tahun 2030, Pemerintah mendorong peningkatan efisiensi energi dari bangunan dan gedung (Hoesin, 2019).

Sebagian besar energi pada bangunan di Indonesia digunakan oleh sistem HVAC terlepas dari tipe bangunannya. HVAC berkontribusi sekitar 47% hingga 65% dari total konsumsi energi bangunan. Gabungan pencahayaan buatan dan beban steker berkontribusi sebesar 15% hingga 25% dari total konsumsi energi. Oleh karena itu, dengan meminimalkan konsumsi energi untuk HVAC dan pencahayaan buatan melalui desain pasif dan aktif akan mengurangi konsumsi energi bangunan keseluruhan secara signifikan (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012b).

Beban pendinginan udara di dalam bangunan secara umum dapat dikategorikan atas beban eksternal akibat perolehan dari luar bangunan (misalnya melalui dinding, jendela dll.) dan beban internal (misalnya penerangan, peralatan, orang dll). Pada bangunan dengan permukaan bidang kaca yang luas perolehan panas dari jendela kaca dan dinding tersebut menjadi bagian utama beban

pendinginan. Perolehan panas eksternal dari jendela dan dinding sebuah bangunan kantor tipikal di Jakarta adalah sekitar 63%, sedangkan perolehan panas internal dari peralatan, penerangan dan hunian sekitar 37%. Ini menunjukkan peluang penghematan energi sangat besar melalui selubung bangunan yang dirancang secara seksama dan tepat untuk mengurangi beban pendinginan udara (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012b).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu melalui pengembangan konsep arsitektur yang lebih sadar energi. Pemborosan energi pada sistem penghawaan udara bangunan dapat diminimalisir dengan mengurangi panas eksternal yang masuk melalui selubung bangunan. Peluang penghematan energi pada selubung bangunan dapat dilakukan dengan menurunkan OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*).

Perhitungan OTTV dilakukan untuk mengetahui nilai perpindahan panas melalui elemen selubung bangunan yang berpengaruh besar pada bangunan bertingkat karena besarnya persentase selubung yang dimiliki. Menara Bosowa merupakan salah satu bangunan bertingkat yang berlokasi di Kota Makassar dengan desain selubung yang didominasi oleh material fenestrasi yang ternyata tidak memenuhi standar OTTV yang terdapat pada SNI 03-6389-2011. Sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut pada objek tersebut untuk dijadikan acuan agar memperoleh alternatif desain yang lebih baik dan dapat diaplikasikan pada perancangan bangunan bertingkat lainnya.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengevaluasi nilai OTTV dan konsumsi energi pendingin pada bangunan bertingkat melalui perbandingan penilaian menggunakan parameter geometri bangunan berupa rasio kepipihan bangunan, arah orientasi, dan WWR (*Window to Wall Ratio*) untuk memberikan beberapa alternatif desain sebagai salah satu upaya konservasi energi di bidang arsitektur. Pengurangan beban pendingin bangunan merupakan awal dari penghematan energi dan pengurangan pemakaian *air conditioning* yang dapat menyebabkan efek *urban heat island* dan pemanasan global.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan pada latar belakang, dapat dirumuskan beberapa permasalahan diantaranya sebagai berikut:

1. Seberapa besar pengaruh geometri pada bangunan yang memiliki luas lantai yang sama namun dengan luas selubung yang berbeda terhadap OTTV bangunan?
2. Seberapa besar pengaruh arah orientasi terhadap nilai *solar factor* dalam pengukuran OTTV bangunan?
3. Seberapa besar pengaruh nilai WWR terhadap OTTV bangunan?
4. Bagaimana geometri, arah orientasi, nilai WWR, serta kombinasi ketiganya yang efektif diaplikasikan pada bangunan dan pengaruhnya terhadap konservasi energi?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, dapat disusun beberapa tujuan yang ingin dicapai:

1. Untuk menganalisis seberapa besar pengaruh geometri bangunan yang memiliki luas lantai yang sama namun dengan luas selubung yang berbeda terhadap OTTV bangunan.
2. Untuk menganalisis seberapa besar pengaruh arah orientasi terhadap nilai *solar factor* dalam pengukuran OTTV bangunan.
3. Untuk menganalisis seberapa besar pengaruh nilai WWR terhadap OTTV bangunan.
4. Untuk menentukan geometri, arah orientasi, nilai WWR, serta kombinasi ketiganya yang efektif diaplikasikan pada bangunan dan pengaruhnya terhadap konservasi energi.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pembaca, masyarakat, pemerintah, arsitek, maupun peneliti. Adapun manfaat yang diharapkan diantaranya yaitu:

1. Bagi peneliti selanjutnya, penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti yang mengangkat topik yang sama.
2. Bagi masyarakat, menjadi sumber pengetahuan baru dan literatur dalam perencanaan bangunan yang memperhatikan aspek konservasi energi sehingga kedepannya pembangunan di Indonesia dapat berlangsung dengan baik dan ramah lingkungan secara signifikan.
3. Bagi pemerintah, memberikan solusi kepada pemerintah dan dapat dijadikan sebagai salah satu masukan dalam menyikapi pembangunan gedung yang memperhatikan aspek konservasi energi yang memiliki pengaruh penting bagi kenyamanan serta konsumsi energi pada bangunan.
4. Bagi arsitek, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan pertimbangan ataupun acuan dalam proses perancangan untuk menentukan geometri, arah orientasi, dan nilai WWR dalam perencanaan pembangunan gedung.

E. Ruang Lingkup / Batasan Penelitian

Agar tujuan dan sasaran dapat tercapai, maka pembahasan akan dibatasi sebagai berikut:

1. Konteks penelitian berfokus pada desain selubung bangunan diantaranya yaitu geometri, orientasi, dan WWR (*Window to Wall Ratio*).
2. Indikator energi berfokus pada OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) dan konsumsi energi pendingin (pengkondisian udara).
3. Geometri bangunan yang dimaksud yaitu bangunan dengan perbandingan yang berbeda pada lebar dan panjang denahnya (1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5), namun memiliki tinggi serta volume yang sama.
4. Orientasi bangunan yang dimaksud yaitu salah satu dari 8 orientasi (utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat, dan barat laut) yang merupakan bidang terluas pada selubung bangunan yang juga memiliki persentase fenestrasi paling besar.
5. Nilai WWR yang digunakan yaitu 15%, 30%, dan 45%.

6. Konservasi energi pada pada sistem tata udara bangunan melalui kalkulasi nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) yang mengacu pada SNI 03-6389-2011 yaitu sebesar 35 watt/m².

F. Sistematika Pembahasan

Secara garis besar, sistematika penulisan dari penelitian “Pengaruh Desain Selubung Bangunan terhadap Kinerja Energi Pendingin” yaitu:

BAB I Pendahuluan

Dalam bab ini berisi latar belakang dari persoalan yang akan diteliti sebagai titik tolak perumusan masalah, rumusan masalah, tujuan dan sasaran yang ingin dicapai, lingkup pembahasan/batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori-teori yang menjadi acuan/dasar dari penulisan penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini akan menjabarkan mengenai objek yang akan diteliti, rancangan penelitian, sumber data, instrumen penelitian, teknik analisis data, serta cara pengambilan kesimpulan.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisi tentang uraian penelitian secara umum ke khusus, proses menganalisis data, pembahasan, dan pengambilan keputusan.

BAB V Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini, serta saran untuk perbaikan selanjutnya.

Pada bagian akhir dalam penulisan ini meliputi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bangunan Gedung

Menurut Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur (2017), bangunan gedung dibangun untuk dimanfaatkan sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk tinggal, berusaha, melakukan kegiatan keagamaan, melakukan kegiatan sosial dan budaya, maupun melakukan kegiatan-kegiatan yang mempunyai tingkat kerahasiaan atau bahaya tinggi. Dengan demikian, fungsi suatu bangunan gedung harus telah ditetapkan sebelumnya agar bangunan gedung yang akan dibangun tersebut, dari awal sudah direncanakan untuk mewujudkan fungsi tersebut, sehingga persyaratan-persyaratan administrasi, persyaratan teknis sudah menjadi pertimbangan dalam proses pembangunannya. Dalam penyelenggaraan bangunan gedung, fungsi bangunan gedung merupakan hal utama yang harus diwujudkan dan dijaga, agar bangunan gedung tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal, sehingga manusia yang melakukan kegiatan di dalamnya dapat melakukan kegiatannya secara optimal, produktif dan berkelanjutan. Dengan demikian, penetapan fungsi menjadi landasandasar dari penyelenggaraan bangunan gedung, agar bangunan gedung yang telah terbangun dapat menjadi wadah yang dapat menjamin terwujudnya keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bagi manusia yang menggunakannya.

Pengaturan fungsi bangunan gedung dalam penyelenggaraan bangunan gedung dimaksudkan agar bangunan gedung yang didirikan dari awal telah ditetapkan fungsinya sehingga masyarakat yang akan mendirikan bangunan gedung dapat memenuhi persyaratan baik administratif maupun teknis bangunan gedungnya dengan efektif dan efisien.

1. Pengertian Bangunan

Menurut Dian Ariestadi (2013) dalam bukunya Teknik Struktur Bangunan, bangunan adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang

menyatu dengan tempat kedudukan baik yang di atas atau di bawah tanah dan menyatu dengan tempat kedudukan di air.

Sedangkan di dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (2016), bangunan merupakan sesuatu yang didirikan; yang dibangun (seperti rumah, gedung, jembatan); bangunan liar adalah bangunan yang didirikan secara tidak sah (tanpa memperoleh izin membangun atau yang didirikan di atas tanah bukan milik sendiri); dan secara teknik, bangunan yang dibuat dengan bahan bangunan yang kuat dan tahan lama (seperti dari baja, beton, batu bata).

Bangunan yaitu tempat hunian yang memiliki bentuk dan dimensi yang dapat menaungi penghuni dan memiliki kekuatan serta kekokohan. Bangunan juga berfungsi untuk mawadahi kebutuhan manusia maupun aktivitas yang dikerjakan. Dalam kajian arsitektur, bangunan harus mempunyai prinsip-prinsip keindahan atau estetika (*Venustas*), kekuatan (*Firmitas*), dan kegunaan atau fungsi (*Utilitas*) serta sebagai tempat berlindung bagi penghuni atau user yang ada di dalamnya (Sembiring et al., 2016).

2. Pengertian Bangunan Gedung

Pengertian bangunan gedung menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 24/PRT/M/2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung (2015) dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 36 Tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung (2005), bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Menurut Peraturan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah tentang Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara (2002), bangunan gedung adalah bangunan yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya untuk kegiatan hunian atau tinggal, kegiatan usaha, kegiatan sosial, kegiatan budaya, dan/atau kegiatan khusus.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 36 Tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung (2005), terdapat dua jenis bangunan gedung yaitu bangunan gedung umum dan bangunan gedung tertentu. Bangunan gedung umum adalah bangunan gedung yang fungsinya untuk kepentingan publik, baik berupa fungsi keagamaan, fungsi usaha, maupun fungsi sosial dan budaya. Sedangkan, bangunan gedung tertentu adalah bangunan gedung yang digunakan untuk kepentingan umum dan bangunan gedung fungsi khusus, yang dalam pembangunan dan/atau pemanfaatannya membutuhkan pengelolaan khusus dan/atau memiliki kompleksitas tertentu yang dapat menimbulkan dampak penting terhadap masyarakat dan lingkungannya.

3. Fungsi Bangunan Gedung

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 36 Tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No.28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung (2005) tidak hanya sebatas digunakan sebagai tempat hunian, tetapi bangunan juga sekarang didirikan untuk menjawab fungsi sebagai fungsi keagamaan, usaha, sosial dan budaya, serta khusus. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing fungsi bangunan tersebut:

- a. Fungsi hunian mempunyai fungsi utama sebagai tempat tinggal manusia yang meliputi rumah tinggal tunggal, rumah tinggal deret, rumah tinggal susun, dan rumah tinggal sementara.
- b. Fungsi keagamaan mempunyai fungsi utama sebagai tempat melakukan ibadah yang meliputi bangunan masjid termasuk mushola, bangunan gereja termasuk kapel, bangunan pura, bangunan vihara, dan bangunan kelenteng.
- c. Fungsi usaha mempunyai fungsi utama sebagai tempat melakukan kegiatan usaha yang meliputi bangunan gedung perkantoran, perdagangan, perindustrian, perhotelan, wisata dan rekreasi, terminal, dan bangunan gedung tempat penyimpanan.
- d. Fungsi sosial dan budaya mempunyai fungsi utama sebagai tempat melakukan kegiatan sosial dan budaya yang meliputi bangunan gedung

pelayanan pendidikan, pelayanan kesehatan, kebudayaan, laboratorium, dan bangunan gedung pelayanan umum.

- e. Fungsi khusus mempunyai fungsi utama sebagai tempat melakukan kegiatan yang mempunyai tingkat kerahasiaan tinggi tingkat nasional atau yang penyelenggaraannya dapat membahayakan masyarakat di sekitarnya dan/atau mempunyai risiko bahaya tinggi yang meliputi bangunan gedung untuk reaktor nuklir, instalasi pertahanan dan keamanan, dan bangunan sejenis yang ditetapkan oleh Menteri.

B. Geometri Bangunan

Secara garis besar, geometri bangunan terdiri atas dua yaitu:

1. Geometri Bangunan Horizontal

Berdasarkan KBBI (2016), horizontal adalah terletak pada garis atau bidang yang sejajar dengan horizon atau garis datar mendatar.

Berdasarkan pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa bangunan horizontal adalah bangunan/tempat hunian yang dihuni dengan arah pertumbuhannya terletak pada garis atau bidang yang sejajar dengan horizon atau garis datar mendatar.

2. Geometri Bangunan Vertikal

Pengertian vertikal menurut KBBI (2016) adalah tegak lurus dari bawah ke atas atau kebalikannya, membentuk garis tegak lurus (bersudut 90°) dengan permukaan bumi, garis horizontal, atau bidang datar.

Bangunan vertikal adalah bangunan/tempat hunian yang dihuni dengan arah pertumbuhannya tegak lurus dengan permukaan bumi, garis horizontal, dan bidang datar.

C. Selubung Bangunan

Selubung bangunan dalam SNI 03-6389 (2011b) adalah elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan atau tidak transparan dimana sebagian energi termal berpindah lewat elemen tersebut. Selubung bangunan atau kulit bangunan adalah filter antara lingkungan internal dan eksternal (Gunawan, 2012).

Selubung bangunan merupakan pemisah antara ruangan yang dikondisikan dengan ruangan luar yang tidak dikondisikan. Selubung bangunan merupakan elemen terluar dari bangunan seperti pondasi, dinding, atap, jendela, pintu, matahari dan kontrol termal, kontrol humiditas, kontrol kualitas udara di lingkungan dalam, akses cahaya alami, pandangan ke luar, ketahanan terhadap api, akustik, biaya efektif dan estetika. Karena bervariasinya fungsi-fungsi tersebut dan terkadang saling berkompetisi dan sangat berkaitan dengan selubung bangunan, maka perlu dipertimbangkan pendekatan terintegrasi dan sinergis. Pendekatan berkelanjutan ini akan mendukung komitmen terhadap lingkungan dan konservasi yang akan menghasilkan biaya yang optimal, lingkungan, sosial dan keuntungan manusia (Winarto, 2007).

Menurut Richards Rush (1986) dalam bukunya *The Building Systems Integration Handbook*, bangunan gedung dapat dibagi dalam 4 sistem yaitu:

1. Struktur
2. Selubung (*envelope*)
3. Mekanikal
4. Interior

Dalam kategori ini selubung bangunan merespon baik dari kekuatan alam maupun nilai (kebutuhan) manusia. Kekuatan alam dapat berupa angin, sinar matahari, hujan dll. Sedangkan manusia membutuhkan keselamatan, keamanan, kenyamanan dll. Selubung bangunan menyediakan perlindungan di area tersebut dan menyeimbangkan kekuatan alam dari dalam maupun dari luar. Untuk mendapatkan perlindungan tersebut diperlukan kontrol penetrasi yang tepat. Secara umum simbol dari selubung bangunan merupakan gelembung besar yang menjadikan cuaca keluar dan iklim interior ke dalam. Selubung bangunan memisahkan antara lingkungan interior dan eksterior dari suatu gedung yang melindungi bagian interior sekaligus menciptakan kontrol iklim.

Perancangan selubung bangunan mempunyai 4 tujuan utama yaitu:

1. Kesatuan struktur
2. Kontrol kelembaban
3. Kontrol *temperature*

4. Kontrol tekanan udara

Komponen fisik gedung antara lain fondasi, atap, dinding, jendela dan pintu. Efektifitas dan daya tahan selubung bangunan tergantung pada hubungan dan interaksi antara dimensi, kinerja dan kompatibilitas dari bahan dan proses fabrikasi. Indikator keberhasilan perancangan selubung bangunan antara lain kemampuan perlindungan terhadap cuaca dan iklim (kenyamanan), kualitas udara dalam ruangan (kebersihan dan kesehatan), daya tahan dan efisiensi.

Selubung bangunan terdiri dari komponen tak tembus cahaya (misalnya dinding) dan sistem fenestrasi atau komponen tembus cahaya (misalnya jendela) yang memisahkan interior bangunan dari lingkungan luar. Selubung bangunan memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan luar yang tidak dikehendaki seperti panas, radiasi, angin, hujan, kebisingan dan polusi (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012b).

Selubung bangunan adalah elemen bangunan yang menyelubungi bangunan gedung, yaitu dinding dan atap tembus atau yang tidak tembus cahaya dimana sebagian besar energi thermal berpindah melalui elemen tersebut. Upaya penghematan energi dengan cara pengelolaan selubung bangunan gedung adalah upaya yang melibatkan semua pihak yang terkait dalam perencanaan, pelaksanaan, pengawasan dan pengelolaan bangunan gedung.

Indonesia melalui Badan Standar Nasional (BSN) telah menerbitkan standar yang dijadikan rujukan untuk menghemat pemakaian energi melalui selubung bangunan yaitu SNI 03-6389-2011, beberapa cara untuk menghemat energi melalui selubung bangunan dengan cara meminimalkan perpindahan panas yang dihasilkan dari sisi luar bangunan pada dinding beberapa diantaranya memasang alat peneduh (*shading*) pada jendela luar untuk meminimalkan radiasi matahari, penggunaan kaca gelas berlapis ganda untuk kaca jendela, atau melapisi dengan kaca film. Kaca gelas umumnya bukanlah material penahan panas yang baik, sehingga perpindahan panas cukup signifikan terjadi melalui kaca gelas jendela. Meminimalkan perpindahan panas melalui kaca gelas jendela dapat dilakukan dengan menggunakan kaca gelas berlapis ganda (*multiple layer glass*). Kaca gelas berlapis

ganda umumnya mempunyai 3 (tiga) lapis kaca gelas yang terpisah oleh udara atau gas inert/mulia.

Kaca gelas yang rendah emisi (*Low-E glass*) Kaca gelas yang rendah emisi adalah kaca gelas yang dilapisi beberapa lapisan logam (termasuk juga lapisan logam perak) atau lapisan campuran logam. Kaca jenis ini mempunyai kemampuan yang tinggi untuk meneruskan cahaya tampak dan memantulkan radiasi panas infra merah. Kaca gelas yang mampu memantulkan sinar matahari (*Reflective glass*) Kaca jenis ini mampu menyerap dan merefleksikan sebagian besar panas radiasi matahari dengan lebih efektif dibandingkan kaca gelas biasa. Penampilan kaca gelas seperti cermin. Untuk mengurangi panas dari sinar matahari, penggunaan tanaman pada dinding atap cukup berpengaruh sehingga kemampuan isolasi thermal dinding atap menjadi lebih baik, manfaat tanaman pada atap dapat memperpanjang usia pakai atap gedung, meningkatkan kemampuan kedap suara, mengurangi beban pendinginan, mengurangi dan memperlambat aliran air hujan dan menangkap polusi gas dan partikulat.

Selubung bangunan Indonesia yang merupakan daerah tropis memiliki karakteristik tersendiri dan telah tercantum standar pada SNI tahun 2011 berjudul Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Dalam SNI tersebut terdapat beberapa kriteria khusus yaitu (Badan Standardisasi Nasional, 2011b):

1. Standar SNI selubung bangunan tahun 2011 berlaku untuk komponen dinding (termasuk jendela) dan atap pada bangunan yang dikondisikan. Bangunan yang dikondisikan umumnya menggunakan *Air Conditioning* (AC/tata udara), oleh karena itu semakin kecil perpindahan panas kedalam bangunan maka akan memperkecil beban pendingin sehingga akan menghemat energi.
2. Berdasarkan SNI tersebut ditetapkan perolehan panas radiasi matahari total untuk dinding dan atap tidak boleh melebihi harga perpindahan panas menyeluruh (OTTV) yaitu 35 Watt/m². Meskipun untuk negara-negara ASEAN lain tahun 2003 menetapkan OTTV adalah 20 Watt/m².

D. Perpindahan Panas

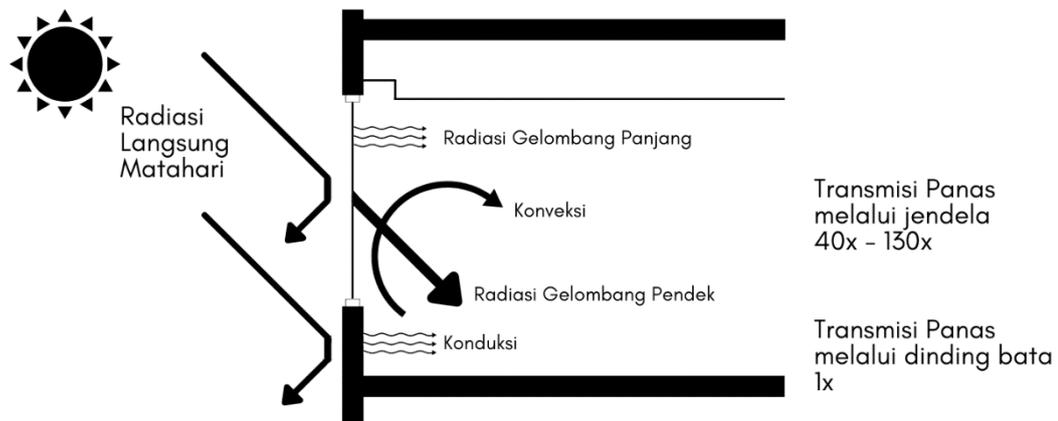
Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah–daerah tersebut. Hal ikhwal aliran panas bersifat universal yang berkaitan dengan tarikan gravitasi (Iskandar, 2014).

Dalam bangunan yang didominasi beban pendinginan eksternal, konsumsi energi untuk sistem HVAC terutama ditentukan oleh perpindahan panas melalui komponen selubung bangunan termasuk:

1. Perpindahan panas melalui jendela,
2. Perpindahan panas melalui dinding,
3. Perpindahan panas melalui atap,
4. Laju infiltrasi dan eksfiltrasi melalui retak-retak, jendela dan bukaan pintu.

Ada sejumlah prinsip desain yang dapat diterapkan untuk mengurangi perolehan panas melalui selubung bangunan:

1. Merancang bentuk dan orientasi bangunan untuk meminimalkan paparan selubung bangunan dari radiasi matahari timur dan barat.
2. Mengurangi transmisi panas melalui jendela dengan mengurangi luas jendela, menyediakan peneduh eksternal yang dirancang secara tepat dan memilih material kaca dengan nilai SHGC atau SC yang rendah.
3. Mengurangi transmisi panas melalui dinding dengan menggunakan insulasi yang memadai.
4. Mengurangi transmisi panas melalui atap dengan memiliki nilai reflektifitas, emisivitas dan insulasi yang lebih tinggi.
5. Mengurangi infiltrasi dan eksfiltrasi dengan menyekat bangunan secara rapat dan mengendalikan bukaan pintu dan jendela.



Gambar 1. 1 Komponen perpindahan panas melalui selubung bangunan
 Sumber: *Panduan Penggunaan Gedung Hijau Jakarta, 2012*

Gambar di atas menunjukkan komponen-komponen perpindahan panas melalui selubung bangunan dengan tiga cara yaitu radiasi, konveksi, dan konduksi. Pada gambar juga menunjukkan perbedaan transmisi panas yang masuk ke dalam bangunan, yang dimana transmisi panas melalui jendela 40-130 kali lebih besar daripada transmisi panas melalui dinding bata.

Menurut Mursadin dan Subagyo (2016), secara umum ada tiga cara perpindahan panas yang berbeda yaitu: konduksi (*conduction*; dikenal dengan istilah hantaran), radiasi (*radiation*) dan konveksi (*convection*; dikenal dengan istilah ilian). Jika kita berbicara secara tepat maka hanya konduksi dan radiasi dapat digolongkan sebagai proses perpindahan panas, karena hanya kedua mekanisme ini yang tergantung pada beda suhu. Sedang konveksi, tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas, karena untuk penyelenggaraanya bergantung pada transport massa mekanik pula. Tetapi karena konveksi juga menghasilkan pemindahan energi dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah, maka istilah “perpindahan panas dengan cara konveksi” telah diterima secara umum.

1. Konduksi/Hantaran (*Conduction*)

Perambatan panas konduksi merupakan perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui kontak (sentuhan) melalui suatu medium benda sebagai perantara, hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan *temperature* antara dua titik. Hal ini dapat terjadi pada selubung

bangunan karna adanya perbedaan *temperature* di luar bangunan yang lebih tinggi dibanding dengan kondisi udara panas dalam ruangan yang lebih rendah.

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetik. Suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan *elastic (elastic impact)*, misalnya dalam fluida atau dengan pembauran (*difusi/diffusion*) elektron-elektron yang bergerak secara cepat dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah (misalnya logam). Konduksi merupakan satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya.

2. Radiasi/Pancaran (*Radiation*)

Perambatan panas radiasi perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas dengan cara pancaran. Radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut. Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus menerus. Intensitas pancaran tergantung pada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dan gejala-gejalanya menyerupai 8 radiasi cahaya. Menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi termal hanya berbeda dalam panjang gelombang masing-masing.

3. Konveksi/Ilial (*Convection*)

Perambatan panas konveksi merupakan perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui aliran angin (atau zat alir lainnya). Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat

penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cairan atau gas. Perpindahan panas secara konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu maka disebut konveksi bebas atau alamiah (*natural*). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Keefektifan perpindahan panas dengan cara konveksi tergantung sebagian besarnya pada gerakan mencampur fluida. Akibatnya studi perpindahan panas konveksi didasarkan pada pengetahuan tentang ciri-ciri aliran fluida.

E. Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Overall Thermal Transfer Value (OTTV) adalah ukuran perolehan panas eksternal yang ditransmisikan melalui satuan luas selubung bangunan (W/m^2). Transmisi radiasi matahari melalui jendela umumnya jauh lebih besar daripada melalui dinding. Oleh karena itu, perencanaan dan perancangan jendela harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari perolehan panas yang berlebihan melalui pengaturan orientasi, luas bukaan jendela, penentuan spesifikasi kaca (*shading coefficient*) dan penggunaan peneduh eksternal (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012b).

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. Untuk mengurangi beban eksternal (panas yang masuk ke dalam bangunan akibat radiasi matahari dan konduksi melalui selubung bangunan), Badan Standardisasi Nasional Indonesia melalui SNI 03-6389-2011 menentukan kriteria disain selubung bangunan yang dinyatakan dalam Harga Alih Termal Menyeluruh (*Overall Thermal Transfer Value*, OTTV) yaitu $\text{OTTV} \leq 35 \text{ Watt/m}^2$ (Badan Standardisasi Nasional, 2011b).

1. Nilai Perpindahan Termal Menyeluruh

- a. Nilai perpindahan termal menyeluruh (OTTV) untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu dapat dihitung melalui persamaan (SNI 03-6389-2011):

$$OTTV = \alpha [U_w \times (1-WWR)] \times T_{Deq} + (U_f \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \dots(2.1)$$

$$OTTV = \frac{\alpha \times U_w \times A_w \times T_{Deq} + U_f \times A_f \times \Delta T + SC \times A_f \times SF}{A_{tot}} \dots(2.2)$$

$$OTTV = \frac{\sum_i^n \alpha_i \times U_{wi} \times A_{wi} \times T_{Deqi} + \sum_j^m U_{fj} \times A_{fj} \times \Delta T_j + \sum_j^m SC_j \times A_{fj} \times SF_j}{\sum_i^n A_{wi} + \sum_j^m A_{fj}} \dots(2.3)$$

Keterangan:

OTTV = nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (Watt/m²).

α = absorbtansi radiasi matahari.

U_w = transmitansi termal dinding tak tembus cahaya (Watt/m².K).

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

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

SC = koefisien peneduh dari sistem fenestrasi.

SF = faktor radiasi matahari (Watt /m²).

U_f = transmitansi termal fenestrasi (Watt/m².K).

ΔT = beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam (diambil 5 K).

- b. Nilai Perpindahan Termal Menyeluruh atau OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu dengan lebih dari satu jenis material dinding, harus dihitung melalui persamaan (SNI 03-6389-2011):

$$OTTV = [\alpha_1 \{U_{w1} \times A_1/\Sigma A (1- WWR) \times T_{Deq}\} + \alpha_2 \{U_{w2} \times A_2/\Sigma A (1- WWR) \times T_{Deq}\} + \dots \alpha_n \{U_{wn} \times A_n/\Sigma A (1- WWR) \times T_{Deq}\}] + \{ U_f \times WWR \times \Delta T \} + \{ SC \times WWR \times SF \} \dots(2.4)$$

Keterangan:

A_1 = area dinding dengan material 1.

A_2 = area dinding dengan material 2.

A_3 = area dinding dengan material n.

$$\sum A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

- c. Untuk menghitung OTTV seluruh dinding luar, digunakan persamaan sebagai berikut (SNI 03-6389-2011):

$$OTTV = \frac{(A_{o1} \times OTTV_1) + (A_{o2} \times OTTV_2) + \dots + (A_{oi} \times OTTV_i)}{A_{o1} + A_{o2} + \dots + A_{oi}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

A_{oi} = luas dinding pada bagian dinding luar i (m^2). Luas total ini termasuk semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut;

$OTTV_i$ = nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding I ($Watt/m^2$) sebagai hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.1 atau 2.4)

- d. Nilai perpindahan termal menyeluruh tidak boleh melebihi atau maksimal sama dengan $35 W/m^2$

2. Absorbtansi Termal (α)

Absorbtansi radiasi matahari (α) merupakan nilai penyerapan energi termal akibat radiasi matahari pada suatu bahan dan yang ditentukan pula oleh warna bahan tersebut. Nilai α untuk bahan terdapat dalam Tabel 2.1 dan untuk warna terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk dinding luar dan atap tak tembus cahaya

| Bahan dinding luar | α |
|---------------------------|----------|
| Beton berat ¹⁾ | 0,91 |
| Bata merah | 0,89 |
| Bitumunous felt | 0,88 |
| Batu sabak | 0,87 |
| Beton ringan | 0,86 |
| Aspal jalan setapak | 0,82 |
| Kayu permukaan halus | 0,78 |
| Beton ekspos | 0,61 |
| Ubin putih | 0,58 |

| Bahan dinding luar | α |
|------------------------------------|----------|
| Bata kuning tua | 0,56 |
| Atap putih | 0,50 |
| Cat aluminium | 0,40 |
| Kerikil | 0,29 |
| Seng putih | 0,26 |
| Bata gelazur putih | 0,25 |
| Lembaran aluminium yang dikilapkan | 0,12 |

¹⁾ Untuk bangunan nuklir

Sumber: SNI 03-6389-2011

Tidak hanya nilai α dari bahan, pelapis ataupun cat dapat memengaruhi kemampuan bahan untuk menyerap panas ataupun kalor dari radiasi matahari. Adapun nilai absorptansi radiasi matahari untuk bahan pelapis atau cat permukaan dinding luar dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Nilai absorbtansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar

| Cat permukaan dinding | α |
|-----------------------|----------|
| Hitam merata | 0,95 |
| Pernis hitam | 0,92 |
| Abu-abu tua | 0,91 |
| Pernis biru tua | 0,91 |
| Cat minyak hitam | 0,90 |
| Coklat tua | 0,88 |
| Abu-abu/biru tua | 0,88 |
| Biru/hijau tua | 0,88 |
| Coklat medium | 0,84 |
| Pernis hijau | 0,79 |
| Hijau medium | 0,59 |
| Kuning medium | 0,58 |
| Hijau/biru medium | 0,57 |
| Hijau muda | 0,47 |
| Putih semi kilap | 0,30 |
| Putih kilap | 0,25 |
| Perak | 0,25 |
| Pernis putih | 0,21 |

Sumber: SNI 03-6389-2011

Bila α material dan warna diketahui, nilai α yang diambil adalah nilai α lapisan terluar. Namun pada konstruksi dinding tirai (*curtain wall*) yang memiliki 2 nilai α maka α total sama dengan $\alpha_1 \times \alpha_2$.

3. Transmittans Termal (U)

Nilai transmittansi termal dinding tak tembus cahaya (U_w) yang terdiri dari beberapa lapis komponen bangunan dihitung dengan rumus (SNI 03-6389-2011):

$$U = \frac{1}{R_{total}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$R_{total} = R_{ul} + R + R_{up} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

R_{total} = Resistansi termal total = ΣR

Tabel 2. 3 Nilai resistansi lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap

| Jenis Permukaan | | R (m ² K/W) |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Permukaan dalam (R_{up}) | Emisivitas tinggi ¹⁾ | 0,120 |
| | Emisivitas Rendah ²⁾ | 0,299 |
| Permukaan Luar (R_{ul}) | Emisivitas tinggi | 0,044 |

Sumber: SNI 03-6389-2011

Keterangan:

¹⁾ emisivitas tinggi adalah permukaan halus yang tidak mengkilap (non reflektif)

²⁾ emisivitas rendah adalah permukaan dalam yang reflektif, seperti aluminium foil

Nilai resistansi termal untuk masing-masing bahan dihitung dengan rumus (SNI 03-6389-2011):

$$R = \frac{t}{k} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

t = tebal bahan (m)

k = nilai konduktivitas termal bahan (Watt/m.K)

Nilai konduktivitas atau kehantaran termal merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan bahan dalam menghantarkan kalor. Besar nilai konduktivitas untuk berbagai jenis bahan terdapat dalam Tabel 2.4., dan nilai resistansi termal pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Nilai k bahan bangunan

| No. | Bahan bangunan | Densitas (kg/m ³) | k (W/m.K) |
|-----|---|----------------------------------|-----------|
| 1 | Beton | 2400 | 1,448 |
| 2 | Beton ringan | 960 | 0,303 |
| 3 | Bata dengan lapisan plaster | 1760 | 0,807 |
| 4 | Bata langsung dipasang tanpa plaster, tahan terhadap cuaca | | 1,154 |
| 5 | Plaster pasir semen | 1568 | 0,533 |
| 6 | Kaca lembaran | 2512 | 1,053 |
| 7 | Papan gypsum | 880 | 0,170 |
| 8 | Kayu lunak | 608 | 0,125 |
| 9 | Kayu keras | 702 | 0,138 |
| 10 | Kayu lapis | 528 | 0,148 |
| 11 | Glasswool | 32 | 0,035 |
| 12 | Fiberglass | 32 | 0,035 |
| 13 | Paduan aluminium | 2672 | 211 |
| 14 | Tembaga | 8784 | 385 |
| 15 | Baja | 7840 | 47,6 |
| 16 | Granit | 2640 | 2,927 |
| 17 | Marmar/batako/terazo/keramik/mozaik | 2640 | 1,298 |

Sumber: SNI 03-6389-2011

Tabel 2. 5 Nilai R lapisan rongga udara

| No | Jenis celah udara | Resistansi termal (m ² K/W) | | | |
|--|----------------------------|--|-------|--------|-------|
| | | 5 mm | 10 mm | 100 mm | |
| RRU untuk dinding | | | | | |
| Rongga udara vertikal (aliran panas secara horizontal) | | | | | |
| 1 | 1. Emisifitas tinggi | 0,11 | 0,148 | 0,16 | |
| | 2. Emisifitas rendah | 0,25 | 0,578 | 0,606 | |
| RRU untuk atap | | | | | |
| Rongga udara horizontal/miring (aliran panas kebawah) | | | | | |
| 2 | 1. rongga udara horizontal | 0,11 | 0,148 | 0,174 | |
| | Emisifitas tinggi | rongga udara dengan kemiringan 22 ½° | 0,11 | 0,148 | 0,165 |
| | | rongga udara dengan kemiringan 45° | 0,11 | 0,148 | 0,158 |
| | | rongga udara horizontal | 0,25 | 0,572 | 1,423 |
| | | rongga udara dengan kemiringan 22 ½° | 0,25 | 0,571 | 1,095 |

| No | Jenis celah udara | Resistansi termal (m ² K/W) | | |
|-------------------------|--|--|-------|--------|
| | | 5 mm | 10 mm | 100 mm |
| 2. | Emisifitas rendah rongga udara dengan kemiringan 45° | 0,25 | 0,57 | 0,768 |
| RRU untuk loteng | | | | |
| 3 | 1. Emisifitas tinggi | | 0,458 | |
| | 2. Emisifitas rendah | | 1,356 | |

Sumber: SNI 03-6389-2011

4. Beda Temperatur Ekuivalen

Beda temperatur ekuivalen (TDek) adalah beda antara temperatur ruangan dan temperatur dinding luar atau atap yang diakibatkan oleh efek radiasi matahari dan temperatur udara luar untuk keadaan yang dianggap quasistatik yang menimbulkan aliran kalor melalui dinding atau atap, yang ekuivalen dengan aliran kalor sesungguhnya. Nilai TDek bisa dilihat pada Tabel 2.6.

Beda temperatur ekuivalen (TDek) dipengaruhi oleh :

- Tipe, massa, dan densitas konstruksi
- Intensitas radiasi dan lama penyinaran
- Lokasi dan orientasi bangunan
- Kondisi perancangan

Tabel 2. 6 Beda temperatur ekuivalen untuk dinding

| Berat/satuan luas (kg/m ²) | TDek (K) |
|--|----------|
| Kurang dari 125 | 15 |
| 126 - 195 | 12 |
| Lebih dari 195 | 10 |

Sumber: SNI 03-6389-2011

5. Faktor Rerata Radiasi Matahari

Faktor radiasi matahari (SF) adalah laju rata-rata setiap jam dari radiasi matahari pada selang waktu tertentu yang sampai pada suatu permukaan. Faktor radiasi matahari dihitung antara jam 07.00 sampai dengan jam 18.00. Nilai SF untuk bidang vertikal pada orientasi tertentu dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Faktor radiasi matahari (SF, W/m²) untuk berbagai orientasi¹⁾

| Orientasi | U | TL | T | TGR | S | BD | B | BL |
|-----------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| | 130 | 113 | 112 | 97 | 97 | 176 | 243 | 211 |

¹⁾Berdasarkan data radiasi matahari di Jakarta untuk kota lain perlu disesuaikan.

Sumber: SNI 03-6389-2011

Rata-rata untuk seluruh orientasi SF = 147

Tabel 2. 8 Faktor radiasi matahari (SF) untuk daerah Makassar

| Orientasi | U | TL | T | TGR | S | BD | B | BL |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 158 | 181 | 197 | 160 | 130 | 181 | 228 | 201 |

Sumber: (Suryabrata, 2020)

Rata-rata untuk seluruh orientasi SF = 179

Keterangan:

U = Utara, TL = Timur Laut, T = Timur, TGR = Tenggara, S = Selatan, BD = Barat Daya, B = Barat, BL = Barat Laut

6. Koefisien Peneduh (SC)

Pada rumus OTTV, faktor radiasi matahari dihitung berdasarkan radiasi matahari tahunan yang ditransmisikan melalui jendela kaca bening setebal 3 mm. Untuk sistem bukaan yang lain, arus perolehan kalor matahari dimodifikasi dengan koefisien peneduh yang didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan kalor matahari melalui sistem bukaan yang mempunyai kombinasi glazing dan koefisien peneduh dengan perolehan kalor matahari yang melalui kaca bening dengan tebal 3 mm.

Perbandingan ini merupakan karakteristik unik pada setiap jenis bukaan dan rumusnya adalah sebagai berikut (SNI 03-6389-2011):

$$SC = \frac{\text{Pengaruh kalor matahari pada setiap kaca dan kombinasi koefisien peneduh}}{\text{Pengaruh kalor matahari melalui kaca jernih tebal 3 mm}} \dots(2.9)$$

Secara umum koefisien peneduh pada setiap sistem fenestrasi didapatkan dengan mengalikan koefisien peneduh kaca (atau koefisien peneduh efektif dari kaca dengan *solar control film* (kaca film) yang ada pada kaca) dengan koefisien peneduh peralatan peneduh matahari seperti pada rumus berikut (SNI 03-6389-2011):

$$SC = SC_k \times SC_{Ef} \dots(2.10)$$

Keterangan:

SC = koefisien peneduh sistem fenestrasi.

SC_k = koefisien peneduh kaca atau koefisien peneduh efektif dari kaca dengan *solar kontrol film* (kaca film).

SC_{Ef} = koefisien peneduh efektif peralatan peneduh luar.

Koefisien peneduh pada kaca atau koefisien peneduh efektif dari kaca dengan *solar kontrol film* (kaca film) harus didasarkan atas data rekomendasi dari pabrikan.

F. Intensitas Konsumsi Energi

Intensitas Konsumsi Energi (*Energi Use Intensity*) atau IKE (EUI) berdasarkan formula perhitungan dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 38 tahun 2012 adalah besar energi yang digunakan suatu bangunan gedung perluas area yang dikondisikan dalam satu bulan atau satu tahun. Area yang dikondisikan adalah area yang diatur temperatur ruangnya sedemikian rupa sehingga memenuhi standar kenyamanan dengan udara sejuk disuplai dari sistem tata udara gedung.

IKE merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu sistem (bangunan). Namun energi yang dimaksudkan dalam hal ini adalah energi listrik. Pada hakekatnya Intensitas Konsumsi Energi ini adalah hasil bagi antara konsumsi energi total selama periode tertentu (satu tahun) dengan luasan bangunan. Satuan IKE adalah kWh/m² per tahun.

Pada bangunan gedung, sistem konsumsi energi dapat dikelompokkan pada empat konsumsi energi listrik terbesar yaitu, AC, pencahayaan, transportasi gedung dan peralatan kantor lainnya. Persentase penggunaan energi listrik pada gedung komersial ditunjukkan pada Tabel 2.9. (Hassan, 2014)

Tabel 2. 9 Persentase penggunaan energi di gedung

| Penggunaan Energi | Persentase |
|---------------------|------------|
| Sistem HVAC | 60% |
| Sistem pencahayaan | 20% |
| Sistem transportasi | 10% |
| Alat-alat lain | 10% |

Sumber: (Hassan, 2014)

Audit energi merupakan aktivitas pemeriksaan berkala untuk mengetahui ada tidaknya penyimpangan dalam suatu kegiatan penggunaan energi, menentukan langkah perbaikannya serta mengevaluasi tingkat kelayakannya. Monitoring konsumsi energi secara teratur merupakan keharusan untuk mengetahui besarnya energi yang digunakan pada setiap bagian selama selang waktu tertentu sehingga usaha konservasi energi dapat dilakukan.

Berdasarkan ruang lingkup audit energi yang dilakukan maka dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu audit energi awal dan audit energi rinci. Audit energi awal berupa pengumpulan data gedung dan tidak memerlukan pengukuran dalam pengumpulan datanya, data yang diperlukan yaitu data jenis bangunan dan ukuran ruangan, data rekening listrik. Dari data awal dapat dihitung:

1. Rincian luas bangunan (m^2).
2. Konsumsi energi listrik bulanan (kWh/bulan).
3. Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung (kWh/m^2).
4. Biaya energi listrik (Rp/kWh).

Audit energi rinci dilakukan jika nilai IKE dari hasil audit energi awal lebih besar dari nilai standar yang telah ditetapkan, dengan cara:

1. Membandingkan nilai IKE awal dengan IKE target.
2. Mengidentifikasi peluang konservasi energi yang bisa dilakukan.

Pemakaian IKE ini telah ditetapkan di berbagai negara antara lain ASEAN dan APEC. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN-USAID pada tahun 1987 yang laporannya baru dikeluarkan tahun 1992, target besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik untuk Indonesia adalah sebagai berikut (Direktorat Pengembangan Energi, 2010):

1. IKE untuk perkantoran (komersil): $240 kWh/m^2$ per tahun
2. IKE untuk pusat belanja: $330 kWh/m^2$ per tahun
3. IKE untuk hotel/apartemen: $300 kWh/m^2$ per tahun
4. IKE untuk rumah sakit: $380 kWh/m^2$ per tahun

Berdasarkan Peraturan Gubernur No. 38 tahun 2012, standar IKE untuk berbagai tipe/fungsi bangunan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 10 Standar intensitas konsumsi energi

| Tipe Bangunan | Rentang IKE (kWh/m ² /tahun) | | |
|---------------|---|-------|------------|
| | Batas Bawah | Acuan | Batas Atas |
| Perkantoran | 210 | 250 | 285 |
| Hotel | 290 | 350 | 400 |
| Apartemen | 300 | 350 | 400 |
| Sekolah | 195 | 235 | 265 |
| Rumah Sakit | 290 | 350 | 400 |
| Pertokoan | 350 | 450 | 500 |

Sumber: (Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012a)

Jika nilai IKE lebih rendah daripada batas bawah, maka bangunan gedung tersebut dikatakan hemat energi sehingga perlu dipertahankan dengan melaksanakan aktivitas dan pemeliharaan sesuai dengan standar prosedur yang telah ditetapkan. Jika nilai IKE berada di antara batas bawah dan acuan, maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak hemat sehingga perlu meningkatkan kinerja dengan melakukan *tuning up*. Jika di antara acuan dan batas atas, maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak boros sehingga perlu melakukan beberapa perubahan. Bila di atas batas atas, maka perlu dilakukan *retrofitting* atau *replacement*.

Dalam menghitung IKE listrik pada bangunan gedung, ada beberapa istilah yang digunakan, antara lain:

1. IKE listrik per satuan luas kotor (*gross*) gedung.
2. Luas kotor (*gross*) = Luas total gedung yang dikondisikan (ber-AC) ditambah dengan luas gedung yang tidak dikondisikan.
3. IKE listrik per satuan luas total gedung yang dikondisikan (*net*).
4. IKE listrik per satuan luas ruang dari gedung yang disewakan (*net product*).

Istilah-istilah tersebut di atas dimaksudkan sebagai alat pembanding besarnya IKE antara suatu luasan dalam bangunan terhadap luasan lain. Dan besarnya target IKE di atas merupakan nilai IKE listrik per satuan luas bangunan gedung yang dikondisikan (*net*).

Adapun perhitungan dari IKE sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2011a):

$$IKE = \frac{\text{kWh total}}{\text{Luas bangunan}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Rumus untuk menghitung IKE pertahun adalah:

$$IKE = \frac{\text{Energi yang digunakan (kWh/tahun)}}{\text{Luas bangunan (m2)}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Perhitungan nilai IKE bulanan dengan rumus:

$$IKE = \frac{\text{Energi yang digunakan (kWh/bulan)}}{\text{Luas bangunan (m2)}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Menghitung besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Gedung adalah pembagian antara konsumsi energi listrik pada kurun waktu tertentu dengan satuan luas bangunan gedung. Sektor yang dapat dihitung:

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

Nilai IKE yang dipergunakan sebagai acuan pada masing-masing jenis bangunan gedung, bersifat dinamis dan dapat berubah berdasarkan hasil penelitian terbaru mengikuti perkembangan teknologi peralatan hemat energi dan tingkat kesadaran hemat energi pengguna bangunan gedung. Tabel 2.11 Memperlihatkan nilai IKE standar pada bangunan gedung dari berbagai sumber.

Tabel 2. 11 IKE listrik hasil penelitian ASEAN-USAID

| Sumber | IKE (kWh/m ² /tahun) | Tahun Pengeluaran Standar |
|---|------------------------------------|---------------------------------|
| ASEAN-USAID | 240 | 1987 |
| ESDM & JICA Electric Power Development Co.LTD | 198,2 | 2008 |
| GBCI (Konsul Bangunan Hijau Indonesia) | 250 | 2010 |
| Peraturan Gubernur DKI Jakarta No.38 tahun 2012 tentang Bangunan Gedung Hijau | 210-285 | 2012 |

Sumber: (Berchmans et al., 2014)

Menurut pedoman pelaksanaan konservasi energi dan pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional dalam menentukan presentasi penghematan energi. Untuk gedung kantor dan bangunan gedung komersial, nilai standar IKE di golongkan dalam dua kriteria, yaitu untuk bangunan ber-AC dan bangunan tidak ber-AC seperti ditunjukkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Standar konsumsi energi listrik pada bangunan

| Kriteria | Konsumsi Energi Listrik Bulanan (kWh/m ² /bulan) | |
|----------------|---|--------------|
| | Ber-AC | Tidak Ber-AC |
| Sangat efisien | 4,71 – 7,92 | |
| Efisien | 7,92 – 12,08 | 0,84 – 1,67 |
| Cukup efisien | 12,08 – 15,58 | 1,67 – 2,5 |
| Agak boros | 15,58 – 19,17 | |
| Boros | 19,17 – 23,75 | 2,5 – 3,34 |
| Sangat boros | 23,75 – 37,5 | 3,34 – 4,17 |

Sumber: (Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, 2006)

G. Beban Konsumsi Energi pada Bangunan

Manajemen dan optimalisasi dalam membangun konsumsi energi membutuhkan pemahaman penuh tentang kinerja bangunan, yang pertama-tama harus mengidentifikasi sumber daya energi dan penggunaan akhir utama sebuah bangunan. Sumber daya energi dalam sebuah bangunan biasanya mengacu pada listrik, gas alam, dan pasokan pemanas distrik (Wei et al., 2018).

Penggunaan akhir utama yang terkait termasuk sistem pemanas, ventilasi dan AC (HVAC), air panas domestik, pencahayaan, plug-load, lift, peralatan dapur, peralatan dan peralatan tambahan. Perhatikan bahwa sumber energi dan banyaknya penggunaan energi pada bangunan akan berpengaruh pada penggunaan akhir, jadwal operasi HVAC dan kondisi *indoor/outdoor* adalah dua faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam analisis kinerja bangunan (ISO 12655).

Teknologi HVAC secara nyata terus berkembang yang disesuaikan dengan kebutuhan bangunan seperti pemilihan komponen-komponen pembangun HVAC yang diperuntukan untuk menyempurnakan penggunaan energi secara efisien.

Maka untuk itu diperlukan suatu metode mengenai prediksi kinerja maupun konsumsi energi berdasarkan data yang ada (Fumo, 2014).

H. Beban Pendinginan

Beban pendinginan adalah jumlah total energi panas yang harus dihilangkan dalam satuan waktu dari ruangan yang didinginkan. Beban ini diperlukan untuk mengatasi beban panas eksternal dan internal. Beban panas eksternal diakibatkan oleh panas yang masuk melalui konduksi (dinding, langit-langit, kaca, partisi, lantai), radiasi (kaca), dan konveksi (ventilasi dan infiltrasi). Beban panas internal diakibatkan oleh panas yang timbul karena orang/penghuni, lampu, dan peralatan/mesin (*American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*, 2009).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Feri Harianto dan Anastasia Fairanie Gozali (2013) didapatkan hasil perhitungan *external heat gain* lebih besar dibandingkan dengan *internal heat gain* yang disebabkan adanya radiasi matahari secara langsung sehingga tingginya *external heat gain* akan memengaruhi kondisi temperatur dalam bangunan, pada penelitian gedung 6 lantai dengan luas bangunan 1000 m² per lantai, temperatur udara luar 30°C dan temperatur udara dalam 25°C.

I. Konservasi Energi

1. Konsep dan Definisi Konservasi

Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung merupakan standar yang memuat kriteria perancangan, prosedur perancangan, konservasi energi dan rekomendasi dari selubung bangunan pada bangunan gedung yang optimal, sehingga penggunaan energi dapat efisien tanpa mengorbankan kenyamanan dan produktivitas kerja penghuni (Badan Standardisasi Nasional, 2011b).

Menurut Christanto, konservasi adalah upaya yang dilakukan manusia untuk melestarikan atau melindungi alam. Konservasi (*conservation*) adalah pelestarian atau perlindungan. Secara harfiah, konservasi berasal dari bahasa Inggris *conservation*, yang artinya pelestarian atau perlindungan. Sedangkan

menurut ilmu lingkungan, konservasi dapat diartikan adalah sebagai berikut (Christanto, 2014):

- a. Upaya efisiensi dari penggunaan energi, produksi, transmisi, atau distribusi yang berakibat pada pengurangan konsumsi energi di lain pihak menyediakan jasa yang sama tingkatannya;
- b. Upaya perlindungan dan pengelolaan yang hati-hati terhadap lingkungan dan sumber daya alam (fisik);
- c. Pengelolaan terhadap kuantitas tertentu yang stabil sepanjang reaksi kimia atau transformasi fisik;
- d. Upaya suaka dan perlindungan jangka panjang terhadap lingkungan;
- e. Suatu keyakinan bahwa habitat alami dari suatu wilayah dapat dikelola, sementara keanekaragaman genetik dari spesies dapat berlangsung dengan mempertahankan lingkungan alaminya.

Konservasi energi merupakan salah satu kebijakan yang dapat dilakukan dengan cara mendorong pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang benar benar diperlukan. Kebijakan energi terbarukan dilaksanakan melalui (Kholiq, 2015):

- a. Konservasi di sisi pembangkit, yang didahului oleh audit energi
- b. Mengurangi pemakaian listrik yang bersifat konsumtif, keindahan, kenyamanan
- c. Mengganti peralatan yang tidak efisien
- d. Mengatur waktu pemakaian peralatan listrik

Berdasarkan SNI 03-6390-2000 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung oleh Badan Standardisasi Nasional (2010), konservasi energi adalah upaya mengefisienkan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindarkan.

2. Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung

Konservasi energi sistem tata udara menurut SNI 03-6390-2000 adalah sistem tata udara yang dapat bekerja dengan hemat energi tanpa mengurangi persyaratan fungsinya.

a. Tahap Pengoperasian

1) Mesin Refrigerasi

- a) Jangka waktu operasi mesin refrigerasi dapat dikurangi, misalnya dengan memanfaatkan besarnya masa air sejuk yang berfungsi sebagai semacam penyimpan energi dingin.
- b) Selain jangka waktu beban parsial perlu dicari kombinasi operasi unit jamak (*multiple units*) yang akan menuntut masukan energi yang paling rendah (*multi chiller*, atau *multi compressor* pada satu *chiller*).
- c) Dengan memperhatikan karakteristik pompa distribusi air sejuk, dicari setting laju aliran air keluar *chiller* minimum yang masih diijinkan sesuai ketentuan pabrik pembuat *chiller*, sekaligus dengan memperhatikan rentang kenaikan suhu dalam *chiller*.

2) Sistem Distribusian Udara dan Air Sejuk

- a) Pada sistem tata udara dengan air sejuk, perlu dicari upaya agar laju aliran air sejuk minimal, kalau pompa distribusi air sejuk menunjukkan karakteristik daya masukan rendah pada laju aliran air rendah.
- b) Secara umum, infiltrasi udara luar perlu dicegah karena akan sulit mengendalikan kondisi ruang sesuai yang direncanakan.

3) Beban Pendingin

- a) Menaikkan setting temperatur ruang sampai batas maksimum yang masih berada di dalam zona nyaman (*comfort zone*).
- b) Berdasarkan rekaman pemakaian energi dicari jam pengoperasian AHU dan FCU yang paling hemat energi.
- c) Beban dalam ruangan yang dapat dimatikan tanpa mengganggu fungsi ruangan merupakan salah satu peluang penghematan energi yang paling mudah, misalnya mematikan lampu pada zona eksterior siang hari jika pencahayaan alami sudah cukup memadai.

b. Tahap Pemeliharaan dan Perbaikan

Pada pemeliharaan dan perbaikan, secara umum yang perlu diperhatikan untuk penghematan energi terutama adalah menjaga agar

kondisi pertukaran kalor dapat berlangsung dengan baik, dengan menjamin tahanan kalor yang kecil.

- a) Pada kondenser perlu dilakukan pembersihan yang teratur pada sisi fluida pendinginnya; kondenser berpendingin udara perlu pembersihan sirip pada sisi udara, dan pada kondenser berpendingin air perlu pembersihan pipa air dari kerak agar tidak terlalu tebal.
 - b) Untuk kondenser berpendinginan udara, aliran udara luar perlu dijaga agar cukup dan tidak terhalang, serta tidak terjadi "hubung pendek" antara aliran udara keluar dari kondenser dengan aliran udara yang akan masuk kondenser.
 - c) Pada kondenser berpendinginan air maka sistem air pendingin perlu dijamin kebersihan dan kelancarannya, mulai dari menara pendingin (*cooling tower*) sampai pompa sirkulasi air kondenser.
 - d) Pada masa pemeliharaan, perlu diperiksa apakah nilai EER atau kW/TR mesin refrigerasi masih mendekati nilai yang dijamin oleh pabrik.
- 1) Sistem Distribusi

Pemborosan energi dapat terjadi di berbagai bagian sistem tata udara, sepanjang perjalanan kalor dari mulai sumbernya di ruangan sampai mencapai evaporator pada mesin refrigerasi.

- a) Isolasi pipa air sejuk, pipa refrigeran dan ducting udara perlu diperiksa dan diperbaiki untuk mencegah kebocoran kalor lebih banyak.
- b) Koil penukar kalor pada AHU dan FCU perlu dibersihkan dan dirapihkan ("disisir") untuk menjamin proses pertukaran kalor yang baik.
- c) Walaupun tidak termasuk memboroskan energi secara langsung, namun filter pada AHU dan FCU juga perlu diperhatikan kebersihannya karena menyangkut kebersihan udara yang akan dimasukkan ke dalam ruangan. Filter yang lebih kotor juga menimbulkan kerugian tekanan yang lebih besar sehingga mengurangi laju aliran udara melalui koil pendingin.

c. Modifikasi

Modifikasi sistem tata udara dalam upaya penghematan energi dapat dilakukan sebagai langkah terakhir apabila setelah dilakukan segala upaya pada waktu operasi dan pada tahap pemeliharaan masih belum dicapai nilai pemakaian energi spesifik yang diinginkan.

J. Studi Pustaka

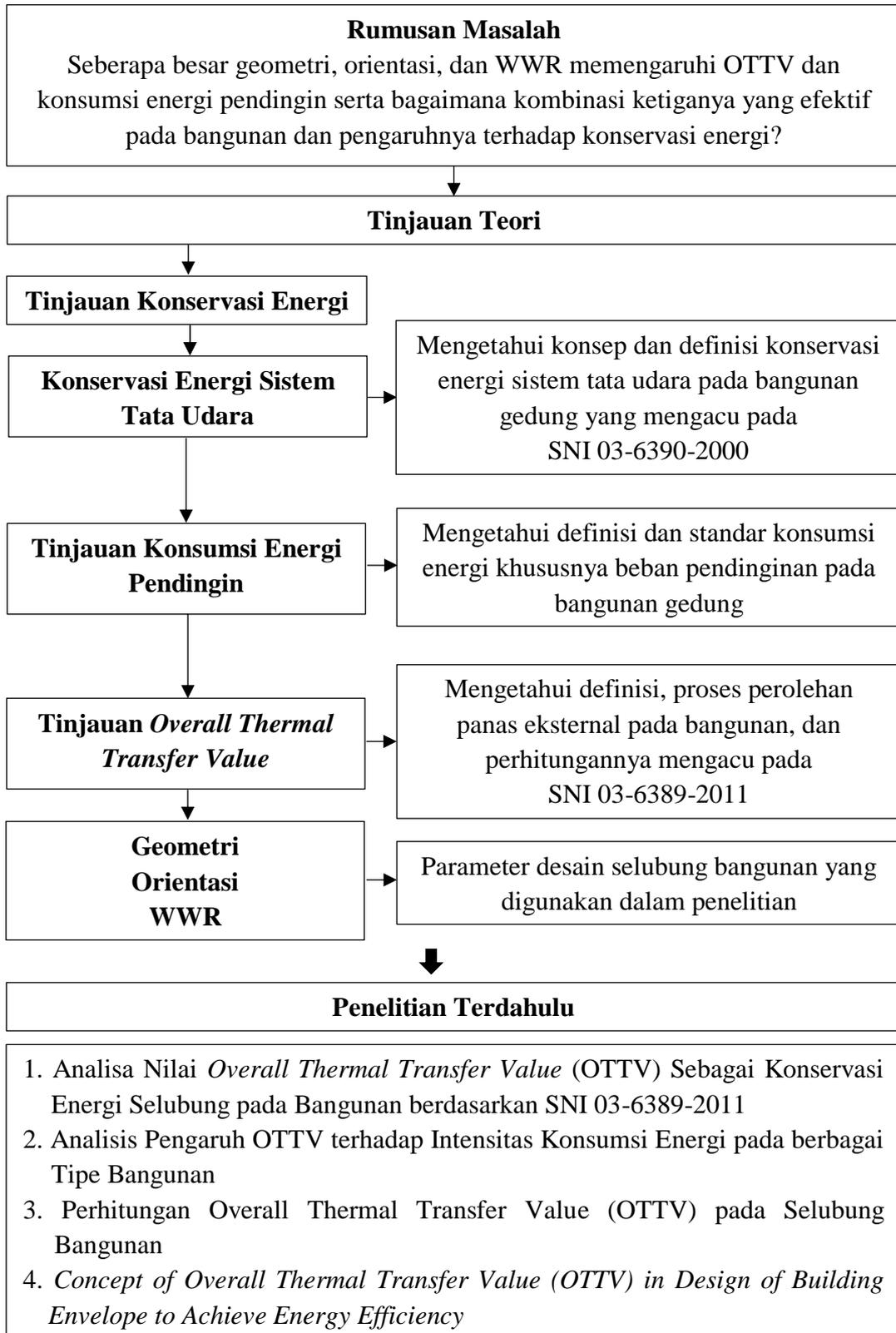
Tabel 2. 13 Studi literatur

| Judul Penelitian | Fokus | Lokasi | Metode | Hasil |
|---|---|--|--|---|
| Analisa Nilai <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV) sebagai Konservasi Energi Selubung pada Bangunan berdasarkan SNI 03-6389-2011 (2019) | Nilai <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV) sebagai konservasi energi. | Cluster Jasmine Valle, Perumahan Araya, Kota Malang | Data dikumpulkan melalui observasi ataupun penelusuran pustaka kemudian dipetakan melalui <i>software autocad</i> untuk memaparkan data bangunan secara grafis sesuai dengan keadaan eksisting, kemudian pemasukan data pada <i>software ecotect</i> . | <ul style="list-style-type: none"> Perhitungan OTTV selubung bangunan dari berbagai arah memiliki nilai sebesar 15.10 W/m². Dengan OTTV terbesar adalah pada fasad sebelah selatan yaitu sebesar 39.94 W/m². Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan OTTV adalah warna bangunan yang cerah dan jenis material, teritisan, serta meminimalkan besar perbandingan bidang transparan terhadap dinding dapat dilakukan untuk meminimalkan penyerapan radiasi pada selubung bangunan sebagai konservasi energi. |
| Analisis Konservasi Energi melalui Selubung Bangunan (2006) | Penelitian ini menghitung OTTV (<i>Overall Thermal Transfer Value</i>) menurut SNI 03-6389-2000. Menentukan WWR yang dapat dipakai untuk merencanakan bangunan untuk memenuhi OTTV yang disyaratkan serta hanya membahas parameter-parameter yang berhubungan dengan selubung bangunan dalam hubungannya dengan beban pendinginan maksimum dalam suatu jam tertentu | 5 Bangunan gedung kantor bertingkat di Jakarta (Menara Batavia, Menara Global, Wisma Dharmala Manulife, Wisma Dharmala Sakti, Wisma SMR) | Penelitian ini menghitung OTTV (<i>Overall Thermal Transfer Value</i>) menurut SNI 03-6389-2000 (manual) dan menghitung beban pendinginan dengan metode <i>Cooling Load Temperature Difference</i> (CLTD) | <ul style="list-style-type: none"> Semakin besar WWR suatu gedung makin besar pula OTTV dan Beban Pendinginan Eksternal maksimum. Hal ini dijelaskan dengan makin besarnya jendela, maka radiasi matahari dan konduksi panas lewat jendela yang masuk ke dalam bangunan bertambah besar. Mutu bahan dan warna selubung bangunan (α dan SC) sangat berpengaruh terhadap besarnya OTTV. Perencanaan selubung bangunan sebaiknya menggunakan $WWR \leq 0,40$, pilihlah bahan selubung yang bersifat reflektif dan bahan kaca bermutu tinggi atau berkanopi. |
| Analisis Pengaruh OTTV terhadap Intensitas Konsumsi | Menghitung dan menganalisis hubungan antara OTTV dan IKE untuk berbagai tipe bangunan. | Model yang menggunakan iklim Bandung dan Jakarta | Metode yang dilakukan dimulai dengan perancangan bangunan, pembuatan geometri | Penelitian menunjukkan bahwa OTTV dan IKE memiliki hubungan yang linear naik. Parameter-parameter yang paling memengaruhi adalah WWR, jenis kaca, COP AC, dan iklim. |

| Judul Penelitian | Fokus | Lokasi | Metode | Hasil |
|--|--|---|---|---|
| Energi pada berbagai Tipe Bangunan (2019) | | | bangunan, pemberian input dan running simulasi, dan analisis data. | |
| Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Gedung Graha Galaxy Surabaya (2013) | Pengaruh OTTV dan RTTV dari seluruh selubung bangunan serta besar beban pendinginan total yang ada dalam gedung. | Gedung Graha Galaxy Surabaya | Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu berupa gambar proyek, data meteorologi, foto dan survey. | <ul style="list-style-type: none"> • OTTV dan nilai RTTV berbanding lurus dengan tingkat beban pendingin udara pada suatu bangunan. • Solusi yang dapat diaplikasikan yaitu dengan memasang tanaman hijau di sekitar bangunan untuk membayangi bangunan, mengganti cat dengan warna yang lebih cerah, dan mengganti AC konvensional dengan AC hemat energi. |
| Perhitungan <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV) pada Selubung Bangunan (2017) | Menganalisis OTTV bangunan berdasarkan standar SNI. | Podium dan Tower Rumah Sakit Siloam pada Proyek Spondol <i>Mixed-Use Development</i> , Semarang | Pendekatan kuantitatif. | Bangunan Rumah Sakit Siloam yang berfungsi sebagai menara dan bangunan perbelanjaan yang berfungsi sebagai Podium pada proyek Spondol <i>Mixed-Use Development</i> sudah memenuhi kriteria bangunan hemat energi. |
| Analisis Audit Energi untuk Pencapaian Efisiensi Energi di Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten (2018) | Audit energi dengan parameter intensitas konsumsi energi, khususnya pada bidang kelistrikan, kondisi beban pencahayaan, dan beban pendingin. | Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten | Pengumpulan data sekunder dan primer | IKE pada gedung AB, Tangerang adalah 48,33 kWh/m ² /tahun, masuk dalam kategori sangat efisien, karena sebagian besar ruang menggunakan ventilasi alami, banyak AC yang tidak bekerja, banyak ruang dengan kapasitas AC yang terlalu kecil, dan intensitas pencahayaan kurang terang. |
| Analisa Konservasi Energi pada Bangunan Kantor Pemerintah di Surabaya (2015) | Pengaruh tipologi fasad bangunan dalam mendukung konservasi energi. | Kantor Walikota Surabaya dan Kantor DPRD Kota Surabaya | Metodologi penelitian kuantifikasi dengan menghitung OTTV dan RTTV berdasarkan SNI 03-6389-2011 (secara manual) | <ul style="list-style-type: none"> • WWR berbanding lurus terhadap OTTV. Semakin besar WWR maka semakin besar pula OTTV. • Desain bangunan Kantor DPRD dan Kantor Walikota telah memenuhi kriteria bangunan hemat energi dengan OTTV keseluruhan kedua bangunan memenuhi standar yang disyaratkan, yakni $OTTV \leq 35 \text{Watt/m}^2$ |

| Judul Penelitian | Fokus | Lokasi | Metode | Hasil |
|--|---|--|---|--|
| Konservasi Energi melalui Selubung Bangunan pada Bangunan Kantor di Jakarta Selatan (2015) | Rancangan bangunan kantor hemat energi dengan fokus pada OTTV bangunan | Kantor di Kawasan TB Simatupang, Jakarta Selatan | Metode penelitian yang digunakan adalah pengumpulan data kuantitatif. Analisa dilakukan menggunakan <i>Software Ecotect Analysis</i> dan <i>Open Studio</i> | OTTV berbanding lurus dengan tingkat suhu di dalam ruangan. Semakin rendah tingkat suhu ruangan maka akan mengurangi kerja dari sistem pendingin udara. Sehingga, dengan menurunnya OTTV maka akan mengurangi konsumsi energi listrik pada bangunan. |
| Pengaruh Komposisi dan Material Selubung Bangunan terhadap Efisiensi Energi Pendinginan pada Perkantoran Bertingkat Menengah Surabaya (2013) | Menganalisis nilai WWR dan material yang digunakan pada setiap sisi selubung bangunan untuk mengefisienkan konsumsi energi bangunan | Perkantoran di Surabaya | Metode eksperimen dengan taktik simulasi. Metode eksperimen digunakan karena terdapat rekayasa variabel. Simulasi digunakan karena tidak memungkinkan untuk merubah variabel langsung pada objek. | <ul style="list-style-type: none"> • WWR yang baik untuk perkantoran tanpa <i>eksternal shading</i> di Surabaya adalah lebih kecil dari 40%, bangunan dengan bukaan lebar harus menggunakan kaca dan dinding yang memiliki <i>u-value</i> rendah dan asg kecil serta dibantu dengan <i>eksternal shading device</i>. • Penambahan luas bukaan di sisi barat dan timur akan banyak memengaruhi panas yang masuk secara radiasi. Untuk panas secara konduksi, orientasi bukaan tidak terlalu berpengaruh. • Dengan WWR yang sama, Bangunan dengan bukaan utara dan selatan lebih besar akan memiliki beban pendinginan lebih kecil dibanding bangunan dengan luas bukaan sama besar di tiap sisi. |
| <i>Concept of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) in Design of Building Envelope to Achieve Energy Efficiency</i> (2010) | Hubungan desain pada bangunan (fokus pada OTTV) dengan penggunaan energi pada bangunan | Bangunan Pendidikan | Pengamatan yang dilakukan pada setiap sisi bangunan dengan cara perhitungan OTTV bangunan | Desain bangunan yang dapat mengurangi pancaran radiasi matahari langsung dapat mengurangi OTTV pada bangunan sehingga dapat menurunkan konsumsi energi yang digunakan pada bangunan. |

K. Kerangka Konsep



Gambar 2. 1 Kerangka konsep