TESIS – FTSPK 185401

ANALISIS PERBANDINGAN USULAN MATERIAL *SUSTAINABILITY* PADA FASAD BANGUNAN RUSUN BERDASARKAN *LIFE CYCLE COST* *(STUDI KASUS: RUSUN SIWALANKERTO)*

LARAS HIJRAHISWORO
03111950035005

Dosen Pembimbing:
Farida Rachmawati, ST., MT., Ph.D
198110142008122001

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

TESIS – FTSPK 185401

ANALISIS PERBANDINGAN USULAN MATERIAL *SUSTAINABILITY* PADA FASAD BANGUNAN RUSUN BERDASARKAN *LIFE CYCLE COST* *(STUDI KASUS: RUSUN SIWALANKERTO)*

LARAS HIJRAHISWORO
03111950035005

Dosen Pembimbing:
Farida Rachmawati, ST., MT., Ph.D
198110142008122001

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: "**Analisis Perbandingan Usulan Material Sustainability Pada Fasad Bangunan Rusun Berdasarkan Life Cycle Cost (Studi Kasus: Rusun Siwalankerto)**" ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya/tulis untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulis yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulis orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah tesis maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 08 Februari 2022

Laras Hijrahisworo

NRP: 03111950035005

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:
LARAS HIJRAHISWORO
NRP: 03111950035005

Tanggal Ujian: 10 Januari 2022
Periode Wisuda: Maret 2022

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Dr. Farida Rachmawati, ST, MT.
   NIP. : 19811014 200812 2 001 ……

Penguji :

1. Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D.
   NIP: 196911251999031001 ……

2. M. Arif Rohman, S.T., M.Sc., Ph.D.
   NIP: 197712082005011002 ……

Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian

Dr. Techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.
NIP 19721021998021001

ANALISIS PERBANDINGAN USULAN MATERIAL *SUSTAINABILITY* PADA FASAD BANGUNAN RUSUN BERDASARKAN *LIFE CYCLE COST* (STUDI KASUS: RUSUN SIWALANKERTO)

Nama Mahasiswa	: Laras Hijrahisworo
NRP	: 03111950035005
Dosen Konsultasi	: Dr. Farida Rachmawati, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk melalui urbanisasi sangat besar, yang mengakibatkan kekurangan suplai rumah terutama rumah sederhana untuk Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR). Salah satu usaha pemerintah untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan rumah tinggal yaitu melalui perumahan murah bersubsidi. Akan tetapi karena keterbatasan lahan, membuat pemerintah mencanangkan kebijakan pembangunan rumah susun. Di Indonesia sendiri penyelenggaraan bangunan gedung telah diatur pada Undang-undang Bangunan Gedung Nomor 28 Tahun 2002, yang menyebutkan bahwa penyelenggaraan bangunan gedung harus dilaksanakan dengan mempertimbangkan kesinambungan dan tidak merusak lingkungan. Salah satu cara untuk meminimalisir dampak tersebut yaitu dengan menerapkan konsep *sustaianbility*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan konsep *sustaianbility* melalui pendekatan penggunaan material fasad. Material yang diusulkan diharapkan dapat membantu mengurangi biaya konsumsi energi dan juga ekonomis pada biaya operasional dan perawatannya. Salah satu metodenya adalah dengan menghitung beban panas yang diderita oleh gedung akibat pengaruh radiasi matahari. Pemilihan material tersebut akan dipilih dan diidentifikasi menggunakan metode *Overall Thermal Transfer Value (OTTV)*. Metode ini memungkinkan kita untuk memilih material mana yang paling tepat dalam meminimalisir beban panas matahari yang diterima oleh gedung. Setelah dipilih material yang terbaik, tahapan selanjutnya adalah membandingkan *life cycle cost* antara rumah susun eksisting dan rumah susun yang telah di redesign. Berdasarkan hasil analisa metode OTTV dan LCC, material aluminium memiliki nilai penghematan paling tinggi daripada material lainnya, hal ini dikarenakan nilai OTTV untuk material aluminium menunjukkan nilai 27.47w/m2 dan menjadi material dengan nilai OTTV terendah. Aluminium menghemat biaya energi sepanjang siklus hidup bangunan sebesar 47.18%. Selain itu tidak hanya menghemat biaya energi, material aluminium juga mendapatkan nilai maintenance cost terkecil dengan impact cost sebesar 27.01%. Dengan hasil yang ditunjukkan pada impact cost tersebut membuat material aluminium menjadi material terbaik yang bisa digunakan pada bangunan Rusunawa Siwalankerto.

Kata kunci : *life cycle cost, green material*, rumah susun, energi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROPOSED SUSTAINABILITY MATERIALS ON FACADE BUILDING BASED ON LIFE CYCLE COST (CASE STUDY: RUSUN SIWALANKERTO)

Student Name	: Laras Hijrahisworo
NRP	: 03111950035005
Supervisor	: Dr. Farida Rachmawati, S.T., M.T.

ABSTRAC

Population growth through urbanization is very large, which results in a shortage of housing supplies, especially simple houses for Low-Income Communities (MBR). One of the government's efforts to meet the community's need for housing is through subsidized cheap housing. However, due to limited land, the government has launched a policy for the construction of flats. In Indonesia itself, the construction of buildings has been regulated in the Building Law No. 28 of 2002, which states that the construction of buildings must be carried out by considering sustainability and not damaging the environment. One way to minimize these impacts is to apply the concept of sustainability. The proper application of the concept of sustainability can reduce costs in energy use.

This study aims to propose the concept of sustainability through the use of facade materials. The proposed material is expected to help reduce energy consumption costs and is also economical in its operation and maintenance. One method is to calculate the heat load suffered by the building due to solar radiation. The selection of these materials will be selected and identified using the Overall Thermal Transfer Value (OTTV) method. This method allows us to choose which material is the most appropriate in minimizing the solar heat load received by the building. After selecting the best material, the next step is to compare the life cycle costs between the existing flats and the redesigned flats. Based on the results of the analysis of the OTTV and LCC methods, aluminum material has the highest saving value compared to other materials, this is because the OTTV value for aluminum material shows a value of 27.47w/m^2 and is the material with the lowest OTTV value. Aluminum saves energy costs throughout the life cycle by 47.18%. Besides that, it not only saves energy costs, aluminum material also gets the smallest maintenance costs with an impact cost of 27.01%. With the results shown in the impact cost, aluminum is the best material that can be used in Rusunawa Siwalankerto buildings.

Keywords : life cycle cost, green material, flat, energy

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan rasa syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Pengasih dan lagi Maha Penyayang dan atas kasih sayang–Nya segala nikmat dan karunia yang telah Allah berikan kepada Penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul Analisis Perbandingan Usulan Material Sustainability Pada Fasad Bangunan Rusun Berdasarkan Life Cycle Cost (Studi Kasus: Rusun Siwalankerto). Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik, Bidang Keahlian Manajemen Proyek Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari dalam menyusun Tesis ini banyak mendapat dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga penyususnan Tesis ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan tesis ini, akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan memberikan sumbangsih untuk perkembangan ilmu pengetahuan secara umum khususnya di Bidang Manajemen Proyek Konstruksi.

Surabaya, 08 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS iv
LEMBAR PENGESAHAN TESIS v
ABSTRAK vi
ABSTRAC viii
KATA PENGANTAR x
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR RUMUS xvii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 5
1.4 Manfaat Penelitian 6
1.5 Kontribusi Penelitian 6
1.6 Batasan Masalah 6
1.7 Sistematika Penulisan 7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Rumah Susun 9
2.1.1 Definisi Rumah Susun 9
2.1.2 Tujuan Rumah Susun 9
2.2 Sustainability 10
2.2.1 Definisi Sustainability 10
2.2.2 Konsep Sustainability pada Rumah Susun 11
2.3 Green Material 12
2.3.1 Definisi Green Material 12
2.3.2 Kriteria Green Material Menurut Peraturan Pemerintah 13
2.4 Tahap Usulan Alternatif 15
2.5 Overall Thermal Transfer Value (OTTV) 17

2.6 Life Cycle Cost (LCC) 20
2.6.1 Analisa Life Cycle Cost 20
2.6.2 Definisi Life Cycle Cost 20
2.6.3 Komponen Biaya pada Life Cycle Cost 21
2.6.4 Umur Siklus Hidup 22
2.6.5 Time Value of Money 23
2.7 Penelitian Terdahulu 26
2.7.1 Perbedaan Dari Penelitian Terdahulu 29
2.7.2 Posisi Penelitian 33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 35
3.1 Konsep dan Model Penelitian 35
3.2 Identifikasi Variabel Penelitian 35
3.2.1 Variabel Sustainability 36
3.2.2 Variabel Overall Thermal Transfer Value (OTTV) 37
3.2.3 Variabel Life Cycle Cost 38
3.3 Survei Pendahuluan 39
3.4 Objek, Populasi, Sampel dan Responden Penelitian 40
3.5 Metode Pengumpulan data 40
3.6 Analisa Data 41
3.6.1 Tahap Usulan Alternatif 41
3.6.2 Analisa Overall Thermal Transfer Value (OTTV) 44
3.6.3 Analisa Life Cycle Cost (LCC) 47
3.6.4 Analisis Perbandingan Life Cycle Cost 48
3.7 Proses Penelitian 49
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN 52
4.1 Obyek Penelitian 52
4.2 Analisa Data Kuesioner 55
4.2.1 Analisa Deskriptif Responden Penelitian 55
4.2.2 Analisa Deskriptif Kuesioner Pendahuluan 58
4.3 Analisa Pemilihan Material 61
4.3.1 Tahap Informasi 62
4.3.2 Tahap Kreatif 62
4.3.3 Tahap Analisa 64

4.3.4 Tahap Rekomendasi 70
4.4 Analisa Overall Thermal Transfer Value (OTTV) 71
4.4.1 Konsep Redesign 72
4.4.2 Analisa OTTV Bangunan Eksisting 73
4.4.3 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Kayu 80
4.4.4 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Aluminium 83
4.4.5 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Batu Alam 86
4.4.6 Hasil Akhir OTTV Seluruh Bangunan 88
4.5 Analisa *Life Cycle Cost (LCC)* 89
4.5.1 Komponen Biaya dalam perhitungan *LCC* 89
4.5.2 Perhitungan *Life Cycle Cost* 97
4.5.3 Perbandingan *LCC* Bangunan Eksisting Dengan Bangunan Redesign 100
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 104
5.1 Kesimpulan 104
5.2 Saran 106
DAFTAR PUSTAKA 107
LAMPIRAN 1 111
LAMPIRAN 2 114
LAMPIRAN 3 121
LAMPIRAN 4 127
LAMPIRAN 5 133
BIOGRAFI PENULIS 139

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu 30
Tabel 3. 1 Variabel *Sustainability* 36
Tabel 3. 2 Variabel Penelitian OTTV 38
Tabel 3. 3 Variabel Penelitian LCC 39
Tabel 3. 4 Form tabel analisa keuntungan dan kerugian 44
Tabel 4. 1 Jenis kelamin responden 56
Tabel 4. 2 Latar belakang pekerjaan responden 56
Tabel 4. 3 Pengalaman kerja responden 57
Tabel 4. 4 Latar belakang pendidikan 57
Tabel 4. 5 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor sosial 59
Tabel 4. 6 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor lingkungan 59
Tabel 4. 7 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor ekonomi 60
Tabel 4. 8 Kriteria sustainability yang relevan menurut responden 61
Tabel 4. 9 Hasil kuesioner utama – Material 1 “Kayu” 65
Tabel 4. 10 Hasil kuesioner utama – Material 2 “Batu alam” 66
Tabel 4. 11 Hasil kuesioner utama – Material 3 “Aluminium” 66
Tabel 4. 12 Hasil kuesioner utama – Material 4 “Keramik” 67
Tabel 4. 13 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 1 “Kayu” 68
Tabel 4. 14 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 2 “Batu alam” ... 69
Tabel 4. 15 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 3 “Aluminium” . 69
Tabel 4. 16 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 4 “Keramik” 70
Tabel 4. 17 Ranking material berdasarkan konsep *sustainability* 71
Tabel 4. 18 Detail redesign bangunan Rusunawa Siwalankerto 71
Tabel 4. 19 Kombinasi material ACP 74
Tabel 4. 20 Kombinasi material batako 74
Tabel 4. 21 Kombinasi material dak beton 75
Tabel 4. 22 Berat jenis material 75
Tabel 4. 23 Nilai TDek 76
Tabel 4. 24 Nilai TDek terhadap berat jenis material 76

Tabel 4. 25 Nilai α terhadap setiap jenis material 76
Tabel 4. 26 Nilai solar factor (SF) 76
Tabel 4. 27 *Initial Cost* Rusunawa Siwalankerto 89
Tabel 4. 28 Harga dan luasan material yang digunakan pada fasad 90
Tabel 4. 29 Total harga pemasangan material pada fasad bangunan..... 90
Tabel 4. 30 Total *Initial Cost* dengan penambahan biaya fasad bangunan..... 91
Tabel 4. 31 *Maintenance cost* pada bangunan eksisting 92
Tabel 4. 32 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign kayu 92
Tabel 4. 33 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign aluminium 93
Tabel 4. 34 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign batu alam 94
Tabel 4. 35 *Maintenance Cost* bangunan eksisting dan bangunan redesign 94
Tabel 4. 36 *Energy Cost* bangunan eksisting dan bangunan redesign 95
Tabel 4. 37 *Replacement Cost* bangunan redesain 96
Tabel 4. 38 Perhitungan LCC bangunan eksisting 98
Tabel 4. 39 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign kayu 98
Tabel 4. 40 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign aluminium 99
Tabel 4. 41 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign batu alam 99
Tabel 4. 42 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign 100
Tabel 4. 43 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign kayu dalam m2 101
Tabel 4. 44 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign aluminium dalam m2 101
Tabel 4. 45 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign batu alam dalam m2..... 101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Bagan Alir Tahap Usulan Alternatif 42
Gambar 3. 2 Bagan Alir Metode OTTV 45
Gambar 3. 3 Bagan Alir Proses Penelitian 50
Gambar 4. 1 Lokasi Rusunawa Siwalankerto (7°20'36"S 112°44'19"E) 52
Gambar 4. 2 Grafik hasil OTTV dinding eksisting 79
Gambar 4. 3 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV eksisting 79
Gambar 4. 4 Tampak bangunan dengan penambahan material kayu 81
Gambar 4. 5 Pola desain material kayu yang ditambahkan pada bangunan 81
Gambar 4. 6 Grafik hasil OTTV dinding material kayu 82
Gambar 4. 7 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material kayu 82
Gambar 4. 8 Tampak bangunan dengan penambahan material aluminium 84
Gambar 4. 9 Grafik hasil OTTV dinding material aluminium 84
Gambar 4. 10 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material aluminium 85
Gambar 4. 11 Tampak bangunan dengan penambahan material batu alam 86
Gambar 4. 12 Grafik hasil OTTV dinding material batu alam 87
Gambar 4. 13 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material batu alam 87
Gambar 4. 14 Hasil akhir nilai OTTV dari perbandingan keseluruhan 88

DAFTAR RUMUS

Rumus 2. 1 Rumus Nilai Thermal Dinding Luar (1 Jenis Material) 18
Rumus 2. 2 Rumus Nilai Thermal Dinding Luar (>1 Jenis Material) 18
Rumus 2. 3 Rumus Nilai Thermal Keseluruhan Dinding Luar 18
Rumus 2. 4 Rumus Nilai Thermal Dinding Luar Dengan Orientasi Tertentu 18
Rumus 2. 5 Rumus Jumlah Majemuk Pembayaran Tunggal 24
Rumus 2. 6 Rumus Nilai Sekarang Pembayaran Tunggal 24
Rumus 2. 7 Rumus Jumlah Majemuk Seri Pembayaran Sama 24
Rumus 2. 8 Rumus Penyimpanan Dana Seri Pembayaran..... 25
Rumus 2. 9 Rumus Pengembalian Modal Seri Pembayaran Sama 25
Rumus 2. 10 Rumus Nilai Sekarang Seri Pembayaran Sama 25
Rumus 2. 11 Rumus Gradien Seragam 25
Rumus 2. 12 Rumus Gradien Geometrik Bentuk 1 26
Rumus 2. 13 Rumus Gradien Geometrik Bentuk 2 26
Rumus 2. 14 Rumus Gradien Geometrik Bentuk 3 26

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang dengan tingkat kesejahteraan yang masih rendah dan tingkat urbanisasi yang besar, membuat pembangunan menjadi sangat penting untuk dilakukan guna meningkatkan kesejahteraan penduduknya. Hal ini mengakibatkan kekurangan suplai rumah terutama rumah sederhana bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR). Salah satu usaha pemerintah yaitu dengan memenuhi kebutuhan masyarakat akan rumah tinggal melalui perumahan-perumahan murah bersubsidi. Akan tetapi dengan terbatasnya lahan di kota – kota besar dengan tingkat kepadatan yang tinggi membuat pemerintah kemudian mencanangkan kebijakan pembangunan rumah susun, tujuannya adalah memenuhi kebutuhan rumah layak huni bagi masyarakat berpenghasilan rendah dan menciptakan lingkungan yang selaras dan seimbang. Efek urbanisasi dan peningkatan populasi perkotaan tersebut membuat peningkatan laju pembangunan infrastruktur di seluruh dunia, menjadikan industri konstruksi sebagai salah satu sektor yang paling cepat berkembang di seluruh dunia (Govindan *et al.*, 2015). Tingginya tingkat pembangunan ini selain membawa dampak yang positif, tidak sedikit juga membawa dampak yang negatif terhadap lingkungan. Hal ini kemudian membuat banyak negara telah memulai inisiatif untuk membangun bangunan ramah lingkungan, yang tidak hanya menangani masalah ekonomi tetapi juga memanfaatkan konstruksi berkelanjutan, arsitektur pasif, efisiensi energi bangunan, integrasi energi terbarukan dan faktor-faktor lain ke dalam sektor konstruksi (Todd *et al*, 2001). Oleh karena itu, perusahaan konstruksi harus berusaha keras untuk menerapkan dan mengadaptasi praktik *sustainable* ke dalam konstruksi mereka dan mulai menerapkan berbagai strategi seperti desain, struktur, dan pemilihan material yang berkelanjutan (Govindan *et al.*, 2015).

Dalam praktiknya, bangunan gedung mengeluarkan 30% dari total emisi CO2 yang dihasilkan oleh kehidupan manusia pada pemanfaatan bangunannya, jadi memilih material yang sesuai dapat mengurangi emisi CO hingga sebesar 30% (Gonzalez & Navarro, 2006). Banyak penelitian telah dilakukan mengenai pengukuran konsumsi energi pada gedung. Menurut literatur yang ada, bagian bangunan mengkonsumsi lebih dari 40% dari total energi akhir, mengeksploitasi 30% sumber daya alam, menggunakan sekitar 70% dari listrik yang dihasilkan, dan juga mengeluarkan lebih dari 30% gas rumah kaca di negara maju (Castro *et al.*, 2009). Jadi dengan menerapkan konsep *sustainable*, dapat meminimalisir dampak kerusakan lingkungan akibat kegiatan kontruksi dan dapat meningkatkan efisiensi energi bangunan (Todd *et al*,. 2001). Dalam praktik konstruksi berkelanjutan itu sendiri, pemilihan material memainkan peran penting yang secara langsung mempengaruhi keberlanjutan suatu bangunan. Sebaliknya, pemilihan material yang tidak tepat menyebabkan konstruksi berkelanjutan yang tidak efektif dan berdampak buruk pada aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial bangunan (Florez *et al.*, 2013), selain itu pemilihan material tidak hanya erat kaitannya dengan konsumsi energi konstruksi secara keseluruhan dalam proses produksi, tetapi juga konsumsi energi pada tahap operasi secara keseluruhan (Song & Zhang, 2018). Sebelum dilakukan pemilihan terhadap material perlu diketahui lebih dulu apa saja kriteria yang digunakan dan tahapannya terkait metode yang dipilih, sampai akhirnya dihasilkan pilihan material ramah lingkungan yang sesuai dengan prinsip sustainability. Sampai saat ini penelitian terkait metode dalam pemilihan material dapat diringkas dalam tiga metode utama yaitu membangun struktur hierarki berdasarkan berbagai prinsip/kriteria; memprioritaskan dan menetapkan bobot pada kriteria yang relevan; dan proses penilaian setiap alternatif bahan (Tian *et al.*, 2018).

Suhu yang meningkat pada daerah perkotaan atau bisa disebut *urban heat island* juga diketahui memiliki dampak lingkungan negatif yang besar, tidak hanya pada lingkungan perkotaan tetapi juga pada ekosistem di daerah pedesaan (Arrau & Pena, 2010). *Urban heat island* secara tidak langsung berkontribusi untuk perubahan iklim yang mengakibatkan meningkatnya konsumsi energi karena permintaan yang lebih tinggi untuk penggunaan energi AC. Hal ini membuat kebutuhan listrik perkotaan diketahui meningkat rata-rata 1,5 sampai 2% untuk

setiap 0,6°C peningkatan suhu udara, mulai dari sekitar 20 sampai 25°C (Santana, 2007). Pengukuran efek *urban heat island* juga dapat diidentifikasi dari peningkatan penggunaan energi. Hal ini menyebabkan meningkatnya permintaan energi untuk mendinginkan bangunan interior (Witlinger, 2011). Pada wilayah surabaya sendiri pengukuran suhu antara satu bagian wilayah kota dengan bagian lain dapat mencapai 41°C sedangkan suhu terendah mencapai 26°C yang cenderung berada di pusat kota dan mengalami penurunan suhu semakin menjauhi pusat kota. Jika dilihat dari data BMKG temperatur udara di Kota Surabaya saat ini pada bulan Juli rata-rata mencapai 33°C (BMKG Kota Surabaya, 2021). Suhu perkotaan yang semakin panas tersebut membuat penggunaan AC semakin meningkat akan tetapi pada rumah susun untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) khusunya rusun Siwalankerto yang digunakan sebagai objek penelitian kali ini hanya memiliki daya listrik sebesar 900 Watt, selain itu penggunaan AC juga akan membuat biaya listrik yang dikeluarkan akan semakin tinggi dan memberatkan penghuni yang sebagian besar dihuni oleh masyarakat berpenghasilan rendah, oleh sebab itu fasad akan berfungsi sebagai insulasi termal sehingga penghuni tidak perlu menggunakan AC atau meminimalisir penggunaannya.

Jika berbicara mengenai efisiensi energi dalam prinsip *sustainability*, fasad atau selubung bangunan sendiri memiliki peran fungsional yang krusial terhadap efisiensi energi. Fasad bangunan memiliki peran yang cukup besar dalam penggunaan konsumsi energi pada bangunan, karena sekitar 20-60% konsumsi energi bangunan dipengaruhi oleh fasad (Cheng *et al.*, 2014). Secara umum, memilih material fasad yang terbaik selalu menjadi salah satu masalah paling menantang dalam konstruksi bangunan. Berbagai pilihan kriteria harus dipertimbangkan untuk memilih fasad bangunan, seperti tampilan, insulasi termal, biaya, berat, daya tahan dan kekuatan (Patterson *et al.*, 2011). Terkait dengan konsumsi energi bangunan, ada beberapa pendekatan untuk mencapai tujuan standar energi bangunan. Beberapa negara di Asia standar energi bangunan saat ini diarahkan pada desain bangunan dan diberlakukan pada tahap persetujuan rencana bangunan melalui parameter kontrol seperti *Overall Thermal Transfer Value* atau *OTTV* (Chou *et al.*, 1994). *OTTV* adalah parameter desain untuk selubung bangunan dan telah umum digunakan sebagai sarana untuk membatasi nilai perolehan panas

eksternal yang berlebihan ke dalam bangunan ber-AC (Chua & Chou, 2011). Konsep *OTTV* sendiri telah diusulkan dan diterapkan di banyak negara Asia sebagai pedoman untuk merancang selubung bangunan untuk mencapai penghematan energi di dalam gedung, seperti Singapura, Thailand, Malaysia, Filipina, Hongkong dan Indonesia (Yik & Wan, 2005). Namun, metode penghitungan *OTTV* mereka telah disesuaikan dengan cermat agar sesuai dengan kondisi cuaca lokal dan standar yang telah ditetapkan di masing-masing negara tersebut. Sedangkan untuk Indonesia sendiri, standar terkait nilai OTTV yaitu tidak boleh melebihi 45 Watts/m^2. Nilai tersebut sudah didasarkan pada peraturan SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung.

Permasalahannya yaitu penerapan energi yang efisien dan ramah lingkungan pada sebuah bangunan membutuhkan biaya awal yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan bangunan biasa pada umumnya. Namun, dengan mempertimbangkan pada efisiensi energi sepanjang siklus hidup proyek, penerapan konsep tersebut tentunya akan berbalik menjadi suatu keuntungan yang berkesinambungan pada siklus hidup bangunan tersebut. Karena pada dasarnya rumah susun dibangun dan dibiayai oleh pemerintah untuk didedikasikan bagi masyarakat berpenghasilan rendah (MBR), jadi diharapkan rumah susun yang ada bisa menekan biaya operasional dan biaya perawatannya selama siklus hidup bangunan tersebut. Karena konsep yang digunakan adalah konsep sustainability dengan pendekatan green material maka usulan dan pemilihan materialnya harus didasarkan kepada material yang umum digunakan pada bangunan di iklim tropis khususnya Indonesia, selain itu material yang dipilih juga harus material yang harganya relatif murah agar bisa menekan keseluruhan biaya dari rumah susun tersebut yang nantinya akan berpengaruh terhadap biaya lainnya.

Dalam tahapan pemilihan material yang akan dilakukan, berbagai material akan diusulkan untuk kemudian dipilih sesuai kriteria sustainability. Material terpilih akan digunakan sebagai masukan dalam usulan desain pada fasad rumah susun eksisting yang sudah ada. Fasad eksisting tersebut akan didesain ulang dengan menambahkan komponen dari material terpilih dan kemudian akan didesain menggunakan kaidah dan prinsip arsitektur yang ada. Rumah susun eksiting tersebut kemudian akan dibandingkan biaya siklus hidupnya dengan rumah susun

yang sama yang sudah di re-design menggunakan material yang mendukung efisiensi energi. Untuk membandingkan biaya siklus hidup tersebut akan dilakukan analisa Life Cycle Cost (LCC). Life Cycle Cost atau biaya siklus hidup merupakan kebutuhan biaya yang di butuhkan oleh suatu bangunan selama umur rencananya mulai dari biaya awal yaitu biaya perencanaan dan pembangunan, biaya operasional, biaya perawatan rutin dan biaya perbaikan berkala, serta biaya pembongkaran ketika bangunan sudah melewati umur rencana dan tidak di fungsikan lagi.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang permasalahan di atas, masalah utama dalam penelitian ini adalah "Menentukan material fasad pada rumah susun yang memiliki biaya *Life Cycle Cost* yang paling rendah dari perspective *sutainability*", dengan rincian penelitian sebagai berikut:

1. Kriteria apa saja yang diperlukan dalam memilih *green material* yang sesuai dengan wilayah iklim tropis Indonesia?
2. Material apa yang paling tepat dari sudut pandang energi dan biaya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu "Mendapatkan usulan material pada fasad bangunan rumah susun dengan biaya *Life Cycle Cost* yang paling rendah dari perspective *sutainability*." Guna mencapai tujuan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan berbagai kajian yang akan mendukung tujuan penelitian, yaitu:

1. Mendapatkan kriteria *green material* yang sesuai dengan wilayah iklim tropis Indonesia.
2. Mengetahui material terbaik yang akan digunakan pada bangunan rumah susun dengan menggunakan metode perhitungan *Life Cycle Cost.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan usulan perencanaan pada rumah susun dengan menggunakan konsep *Sustainability*.
2. Memberikan referensi material s*ustainability* dalam pengembangan rumah susun yang ramah lingkungan.
3. Memberikan perencanaan biaya jangka panjang *Life Cycle Cost* (biaya siklus hidup) pada rumah susun.

1.5 Kontribusi Penelitian

Adapun kontribusi yang diperoleh dalam penelitian ini, yaitu:

1. Kontribusi dalam keilmuan berupa pengetahuan mengenai pemilihan green material yang sesuai dengan iklim tropis indonesia dan penerapannya dalam bangunan rumah susun.
2. Kontribusi dalam implementasi green material pada rumah susun berupa usulan mengenai biaya siklus hidup yang terdiri dari biaya operasional, biaya perawatan dan biaya penggunaan energi.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Ruang lingkup penelitian adalah bangunan eksisting Rusunawa Siwalankerto.
2. Area bangunan yang masuk kedalam usulan desain terbatas pada area fasad bangunan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memahami lebih jelas laporan ini, maka materi-materi yang tertera pada laporan tesis ini dikelompokkan menjadi beberapa sub-bab dengan sistematika penyampaian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kontribusi penilitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori yang berupa pengertian dan definisi yang diambil dari kutipan buku, jurnal, serta peraturan dan definisi terkait material berkelanjutan, rumah susun, Overall Thermal Transfer Value (OTTV) dan Life Cycle Cost (LCC).

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan gambaran tentang konsep dan alur penelitian, lokasi penelitian dan pengumpulan data, serta rincian langkah penelitian

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan gambaran umum obyek penelitian, analisa kuesioner, tahapan pemilihan material, analisa OTTV dan analisa LCC.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan tujuan penelitian berdasarkan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rumah Susun

2.1.1 Definisi Rumah Susun

Rumah susun adalah bangunan gedung bertingkat yang dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi dalam bagian-bagian yang distrukturkan secara fungsional dalam arah horisontal maupun vertikal dan merupakan satuan-satuan yang masing-masing dapat dimiliki dan digunakan secara terpisah terutama untuk tempat hunian yang dilengkapi dengan bagian bersama, benda bersama dan tanah bersama. (Undang-Undang No.16 Tahun 1985 tentang Rumah Susun)

Rumah susun menyebabkan perbaikan pada kehidupan masyarakat, karena lingkungan fisik mejadi jauh lebih baik dalam pola hidup yang tidak berubah secara mendasar, yaitu dengan cara pendekatan yang hendak mempertahankan gaya hidup yang sudah biasa dianut masyarakat yaitu gaya hidup guyup, bersama dan pola komunitas yang tetap terjaga (Silas, 1983).

2.1.2 Tujuan Rumah Susun

Pembangunan rumah susun telah dilakukan pada kota-kota besar terutama pada kota yang memiliki tingkat urbanisasinya tinggi. Namun demikian, rumah susun yang telah dibangun tidak semuanya berhasil dan dihuni oleh masyarakat terutama bagi masyarakat golongan menengah ke bawah. Pada kenyataannya, kebanyakan rumah susun yang dibangun tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan melebihi batas daya tampung sehingga terciptalah lingkungan yang tidak sehat dan semakin bertambahnya lingkungan permukiman yang kumuh. Hal ini tentu tidak lagi sejalan dengan tujuan awal dari pembangunan rumah susun. Secara umum, tujuan pembangunan rumah susun dapat dirinci sebagai berikut:

1. Sebagai upaya pemenuhan kebutuhan perumahan yang layak di suatu lingkungan yang sehat.

2. Sebagai upaya untuk mewujudkan permukiman yang serasi, selaras dan seimbang.
3. Sebagai upaya untuk meremajakan daerah-daerah kumuh (slums).
4. Sebagai suatu upaya untuk mengoptimalkan sumber daya yang berupa tanah di perkotaan.
5. Sebagai suatu upaya untuk mendorong pembangunan permukiman yang berkepadatan tinggi.

2.2 Sustainability

2.2.1 Definisi Sustainability

Konsep *sutainability* atau konsep keberlanjutan dianggap sebagai faktor yang sangat penting dalam sebagian besar aspek kehidupan karena bertujuan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mencakup kebutuhan generasi mendatang (Wced, 1987). Ini adalah istilah yang digunakan di antara berbagai disiplin ilmu dalam konteks pembangunan dan pengelolaan lingkungannya (Anastas & Zimmerman, 2003). Definisi keberlanjutan seringkali sangat bergantung pada organisasi, asosiasi atau individu yang mendefinisikan istilah tersebut (Hart, 2010). Keberlanjutan dapat didefinisikan secara umum sebagai tanggung jawab individu dan masyarakat untuk bergerak maju dengan cara menopang kehidupan (Tjpdc, 1998). Konsep keberlanjutan melingkupi dirinya sendiri di sekitar tiga prinsip utama yang terikat bersama, yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial, yang berjalan beriringan untuk menjaga sumber daya yang kita butuhkan di dunia ini (Alonso-Santurde *et al.*, 2012).

Dalam konteks bangunan berkelanjutan, keberlanjutan sendiri melibatkan pengelolaan sumber daya alam terbatas yang ditawarkan lingkungan, dengan tetap mempertimbangkan kenyamanan manusia dan kondisi kehidupan sebuah bangunan (Rovers, 2008). Desain bangunan berkelanjutan biasa disebut dengan *green design*. *Green Building* merupakan bagian dari pergeseran standar menuju keberlanjutan yang menjadikan praktik tersebut lumrah di antara industri konstruksi. Hal ini menjadi jelas melalui penelitian yang diterbitkan oleh Bowman dan Wills (2008) bahwa ada nilai tambah yang diberikan oleh sebuah bangunan yang menggunakan

konsep *Green Building*. Ini termasuk nilai bangunan yang meningkat sekitar 7,5%; biaya yang terkait dengan pengoperasian gedung turun 8% - 9%; peningkatan 3,5% dalam rasio hunian aktual bangunan; peningkatan 3% dalam rasio sewa bangunan; dan laba atas investasi pemilik meningkat sekitar 6,6%.

2.2.2 Konsep Sustainability pada Rumah Susun

Pembangunan berkelanjutan dipandang sebagai proses multi-dimensi berupa perlindungan lingkungan dengan pembangunan berbasis ekonomi, sosial, dan budaya. Seluruh aspek tersebut saling berkaitan dan kemudian dianggap sebagai pendekatan dalam pembangunan berkelanjutan (Habitat, 2012). Pembangunan berkelanjutan awalnya ditargetkan untuk menjawab permasalahan global, namun saat ini sudah ditujukan untuk lingkup yang lebih spesifik, hingga lingkup perumahan (Farhoudi *et al.,* 2015). Konsep ini terdiri dari tiga pilar utama yakni sosial, ekonomi dan lingkungan. Ketiga pilar tersebut harus berjalan secara harmonis. Tiga unsur di dalam berkelanjutan (*Lighthouse Sustainable Building Centre*, 2005), yaitu:

1. Environmental Sustainability (Lingkungan Berkelanjutan)

   yaitu pembangunan yang mempertahankan sumber daya alam agar dapat bertahan lebih lama karena terjadinya keterpaduan antar ekosistem, yang dikaitkan dengan umur potensi vital sumber daya alam dan lingkungan ekologis manusia, seperti iklim, keberagaman hayati, dan perindustrian.
2. Economical Sustainability (Ekonomi Berkelanjutan)

   yaitu pembangunan yang relatif rendah biaya inisiasi dan operasinya. Selain itu, dari segi ekonomi bisa mendatangkan profit juga, selain menghadirkan benefit seperti yang telah disebutkan pada aspek-aspek yang telah disebutkan sebelumnya. Pembangunan ini memiliki ciri produktif secara kuantitas dan kualitasnya.
3. Social Sustainability (Sosial Berkelanjutan)

   yaitu pembangunan yang mampu mempertahankan karakter dari keadaan sosial setempat. Namun akan lebih baik lagi apabila pembangunan tersebut meningkatkan kualitas sosial yang telah ada. Setiap orang yang terlibat dalam

pembangunan tersebut, baik sebagai subjek maupun objek, haruslah mendapatkan perlakuan yang adil. Sustainable Building adalah bangunan yang dirancang, dibangun, dan dioperasikan dengan sekecil mungkin dampak negatifnya terhadap lingkungan, atau justru memberi dampak positif terhadap lingkungan, seraya meningkatkan kesehatan, kesejahteraan, dan kualitas hidup penghuni/pemakainya.

Konsep Rumah Yang Berkelanjutan atau "Sustainable Home" dapat didefinisikan sebagai berikut (Tanuwidjaja, 2012) :

1. Aspek Ekonomi
   - Harganya terjangkau
   - Dekat atau aksesibel ke tempat kerja atau aktivitas sehari-hari
   - Dekat dengan Sumber Daya Alam atau Infrastruktur
2. Aspek Sosial
   - Status Kepemilikan yang jelas
   - Dekat dengan tempat Ibadah dan tempat berinteraksi Sosial
   - Aman dari gangguan
3. Aspek Lingkungan
   - Tempat yang sehat dan aman dari polusi dengan Infrastruktur yang memadai (air bersih, sampah, limbah dll.)
   - Aman dari bencana alam seperti banjir, gempa dll.
   - Dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan sekitarnya

2.3 Green Material

2.3.1 Definisi Green Material

Green Material memiliki arti yang lebih luas dari sekedar material ramah lingkungan. Pengertian material ramah lingkungan sendiri pada umumnya menyangkut dari sisi produk material itu sendiri. Material ramah lingkungan adalah material yang pada saat digunakan dan dibuang, tidak memiliki potensi merusak lingkungan dan mengganggu kesehatan. Sedangkan, Green Material memiliki pengertian lebih besar selain hanya dari sisi produk materialnya saja yang ramah

lingkungan. Tetapi, juga meninjau keberlanjutan dari sumber material, proses produksi, proses distribusi, dan proses pemasangan. Serta dapat mendukung peng-hematan energi (energi listrik dan air), meningkatkan kesehatan dan kenyamanan, dan efisiensi manajemen perawatan bangunannya.

2.3.2 Kriteria Green Material Menurut Peraturan Pemerintah

Analisis penerapan aspek *green material* dalam kriteria bangunan ramah lingkungan di Indonesia dilihat dari peran kebijakan pemerintah berupa peraturan-peraturan yang berlaku. Terkait dengan pembangunan ramah lingkungan atau juga bisa disebut bangunan hijau/Green Building, terdapat dua kebijakan pemerintah yang memuat kriteria dari sebuah bangunan agar dapat disebut banguan ramah lingkungan/ green building yaitu dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Rancangan Peraturan Menteri (Rapermen) Pekerjaan Umum.

1. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup

   Dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 8 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan. Bab II pasal 4, bangunan dapat dikategorikan sebagai bangunan ramah lingkungan apabila memenuhi kriteria, yaitu :

   - Menggunakan material bangunan yang ramah lingkungan
   - Terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk konservasi sumber daya air dalam bangunan gedung
   - Terdapat fasilitas, sarana dan prasarana konservasi dan diversifikasi energi
   - Menggunakan bahan yang bukan perusak ozon dalam bangunan gedung
   - Terdapat fasilitas, sarana dan prasarana pengelolaan air limbah domestic pada bangunan gedung
   - Terdapat fasilitas pemilah sampah
   - Memperhatikan aspek kesehatan bagi penghuni bangunan
   - Terdapat fasilitas, sarana dan prasarana pengelolaan tapak berkelanjutan
   - Terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk mengantisipasi bencana

Dari Peraturan Menteri ini dapat dilihat bahwa aspek material memiliki peran yang utama dalam menentukan kriteria sebuah bangunan ramah lingkungan. Sub kriteria dari penggunaan material adalah penggunaan material bangunan yang bersifat eco-label dan merupakan material bangunan lokal.

2. Rancangan Peraturan Menteri (Rapermen) Pekerjaan Umum

Dalam Rancangan Peraturan Menteri (Rapermen) Pekerjaan Umum Tentang Pedoman Teknis Bangunan Hijau, kriteria bangunan hijau dibedakan menjadi dua, yaitu: Pertama, kriteria pembangunan yang mencakup aspek perencanaan dan pelaksanaan. Kedua, kriteria pemanfaatan yang mencakup aspek pemelihara-an, aspek perawatan, dan aspek pemeriksaan berkala. Kriteria spesifik dari tahap pelaksanaan adalah:

- Manajemen efisiensi energi
- Manajemen efisiensi air
- Manajemen penggunaan material
- Manajemen pelaksanaan konstruksi.

Pada aspek penggunaan material, dapat dibagi lagi menjadi beberapa kriteria material dalam bangunan ramah lingkungan, yaitu:

- Menggunakan material secara efisien dan cermat untuk mengurangi sisa bahan tak terpakai (zero waste, zero defect , dan sistem pracetak)
- Menggunakan material yang bahan baku dan proses produksinya ramah lingkungan.
- Menyiapkan area pemilahan dan menyelenggarakan manajemen sampah untuk tempat material sisa pelaksanaan proyek sebelum digunakan kembali dan/atau didaur ulang.
- Mengutamakan penggunaan material lokal hasil olahan yang mudahdiperoleh di sekitar kawasan proyek.
- Menggunakan pemasok bahan konstruksi yang bersedia membawa/mengambil kembali kemasan pembungkus, pallets, dan material yang tidak terpakai atau material sisa yang ditimbulkan oleh produk yang disediakannya.

- Melakukan penjadwalan pengadaan material secara akurat untuk mengurangi penyimpanan.
- Mendorong penggunaan kembali material untuk kantor proyek, bedeng pekerja konstruksi, dan gudang.
- Mendorong penggunaan kembali alat bantu konstruksi seperti cetakan beton, perancah, dan alat bantu lainnya

Dari kedua kebijakan pemerintah yang berlaku, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa kriteria penting dalam mewujudkan pembangunan yang ramah lingkungan, salah satunya adalah dengan memperhatikan aspek material bangunan yang menjadi dasar awal dalam suatu pembangunan.

2.4 Tahap Usulan Alternatif

Dalam tahapan usulan alternatif material, akan dilakukan dengan cara mengadopsi sebagian dari beberapa tahapan metode Value Engineering (VE). Tahapan ini sendiri digunakan karena penerapan dalam sistematika penelitian yang cukup rapi dari awal hingga akhir analisa. Dari sistematika yang telah dilakukan kemudian disusun dalam tahapan-tahapan yang saling berhubungan dan semua dapat menjelaskan secara jelas dan terpadu. Ada berbagai macam versi tahapan – tahapan yang dilakukan dalam tahapan ini. Menurut Alphonse J. Dell'Isolla (1972) tahapan – tahapan usulan alternatif berisikan empat tahap yaitu :

a. Tahap Informasi. Berdasarkan rencana kerja, tahap pertama yang harus dilalui adalah mengumpulkan informasi sebanyak mungkin mengenai desain perencanaan proyek mulai data umum hingga batasan desain yang diinginkan dalam proyek tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan mengidentivikasi item pekerjaan dengan biaya tinggi. Data yang dibutuhkan adalah data proyek. Data proyek diperlukan untuk mendapatkan informasi dasar mengenai suatu proyek. Data-data proyek berisi informasi umum proyek, fungsi gedung proyek, dan batasan desain proyek. Informasi mengenai proyek diperoleh dengan meminta secara langsung pada konsultan atau pelaksanan yang menangani proyek atau owner proyek tersebut.

b. Tahap Kreatif. Tujuan dari tahap kreatif adalah untuk mendapatkan ide alternatif desain yang dapat memenuhi fungsi dasar item kerja yang dipilih,dimana pada tahap ini dilakukan eksplorasi ide sebanyak – banyaknya tanpa melalui pertimbangan keputusan ataupun analisa terlebih dahulu. Dalam rencana kerja ini, pertanyaan prinsip yang harus dijawab adalah cara –cara alternatif apa saja yang bisa digunakan untuk menampilkan suatu fungsi item kerja. Tahap ini dibuat untuk memperkenalkan gagasan – gagasan baru untuk menampilkan fungsi dasar suatu item kerja. Menurut Dell'Isola (1975) page 33 – 34. ada 2 pendekatan yang utama mengenai kreativitas, diklasifikasikan berdasarkan teknik – teknik *assiciation*, salah satunya yaitu teknik *brainstrorming*. Kebanyakan pendekatan mengenai kreativitas dalam rekayasa nilai adalah dengan teknik *brainstorming*. Sebuah sesi *brainstorming* adalah sebuah forum pemecahan masalah dimana pemikiran tiap peserta distimulasi oleh peserta yang lain dalam satu kelompok. Tipikal suatu sesi *brainstorming* adalah terdiri dari 4 sampai 6 orang dari disiplin ilmu yang berbeda duduk mengelilingi sebuah meja dan secara spontan menghasilkan gagasan – gagasan yang berhubungan dengan penampilan fungsi yang diinginkan dari sebuah item. Selama sesi, kelompok tersebut didorong untuk menghasilkan gagasan sebanyak – banyaknya, tidak ada kritik, pengopinian ataupun negative thinking.

c. Tahap Analisa. Tahap analisa bertujuan untuk melakukan evaluasi, pembenahan dan analisa biaya terdapat ide yang dihasilkan dan untuk mendata alternatif yang layak serta potensi untuk menghasilkan penghematan. Menurut J.O Brien (1976). Pada tahap ini gagasan-gagasan yang muncul pada tahap kreativitas disaring, diberi penilaian seobyektif mungkin. Metode analisa yang dilakukan pada tahap ini adalah metode Analisa Keuntungan dan Kerugian. Gagasan-gagasan yang muncul dari tahap sebelumnya akan disaring dengan melihat keuntungan dan kerugian yang ditimbulkan dari setiap gagasan tersebut. Dari hasil analisa keuntungan dan kerugian, ide-ide kreatif harus dipertimbangkan terhadap beberapa kriteria penilaian. Dalam memberikan penilaian dari setiap kriteria, yang harus ditinjau pertama kali adalah menentukan salah satu dari

kriteria yang lain dengan penilaian secara relatif. Penilaian terhadap kriteria-kriteria yang dilakukan dengan cara wawancara dan pengumpulan kuisioner dari narasumber yang ahli dalam bidang pondasi atau telah melaksanakan pekerjaan pondasi dalam. Hasil dari wawancara dan kuisioner tersebut selanjutnya dilakukan analisis.

d. Tahap Rekomendasi. Setelah melakukan analisa terhadap alternatif-altenatif pada tahap analisa langkah terakhir pada rencana kerja rekayaya nilai adalah tahap rekomendasi. Pada tahap ini dipilih beberapa alternatif desain terbaik dengan memberikan dasar-dasar pertimbangannya yang sudah didapatkan pada tahap analisa.

2.5 Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV (SNI 03-6389 2000) (*overall thermal transfer value*) adalah angka yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk selubung bangunan yang dikondisikan. Menurut SNI 6389:2011 selubung bangunan adalah elemen bangunan yang membungkus bangunan gedung, yaitu dinding dan atap transparan atau yang tidak transparan dimana sebagian besar energi termal berpindah lewat elemen tersebut. Selubung bangunan yang dimaksudkan adalah elemen bangunan yang menyelubungi bangunan gedung, yaitu dinding luar dan atap tembus atau yang tidak tembus cahaya dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen tersebut. Besaran nilai yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk dinding dan kaca bagian luar bangunan gedung yang dikondisikan disebut nilai *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV). Untuk membatasi perolehan panas akibat radiasi matahari lewat selubung bangunan, maka ditentukan nilai perpindahan termal menyeluruh untuk selubung bangunan tidak melebihi 45 watt/m2.

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. Adapun perhitungan untuk nilai perpindahan termal menyeluruh OTTV adalah sebagai berikut:

1. Rumus Nilai Perpindahan Thermal
   a. Rumus Nilai Thermal Dinding Luar (1 Jenis Material)

Nilai perpindahan termal menyeluruh atau OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung melalui Persamaan 2.1 berikut.

$$OTTV = \alpha\left[\left(U_w x(1 - WWR)\right) x TED_{EK}\right] + (U_r x WWR x \Delta T) + (SC x WWR x SF) \tag{2. 1}$$

   b. Rumus Nilai Thermal Dinding Luar (>1 Jenis Material)

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 2.2.

$$OTTV = \begin{bmatrix} a_1 \{Uw_1 x\, {}^{A1}/_{\Sigma A}\ (1 - WWR) x TD_{EK}\} + \\ a_2 \{Uw_2 x\, {}^{A2}/_{\Sigma A}\ (1 - WWR) x TD_{EK}\} \\ \dots\dots a_n \quad \{Uw_n x\, {}^{An}/_{\Sigma A}\ (1 - WWR) x TD_{EK}\} \end{bmatrix} + \{U_f x WWR x \Delta T\} + \{SC + WWR x SF\} \tag{2. 2}$$

2. Rumus Nilai Thermal Dinding Luar Dengan Orientasi Tertentu

Nilai OTTV untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, dapat dihitung dengan Persamaan 2.3.

$$OTTV = a[(Uw\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDEK + (SC\ x\ WWR\ x\ SF) + (Uf\ x\ WWR\ x\ DT) \tag{2. 3}$$

3. Rumus Nilai Thermal Keseluruhan Dinding Luar

Untuk menghitung OTTV seluruh dinding luar, digunakan Persamaan 2.4.

$$OTTV = \frac{(Ao1 x OOTV1) + (Ao2 + OOTV2) + \cdots + (Aoi x OTTVi)}{Ao1 + Ao2 + \cdots + Aoi} \tag{2. 4}$$

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.

- Daftar Notasi

OTTV = Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m2);

a = Absorbtans radiasi matahari.

UW = Transmitans termal dinding tidak tembus cahaya (W/m2.K);

WWR = Perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan;

TDEK = Beda temperatur ekuivalen (K);

SF = Faktor radiasi matahari (W/mEk 2);

SC = Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi;

Uf = Transmitans termal fenestrasi (W/m2.K);

T = Beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam. (diambil 5K)

A1 = area dinding dengan material 1.

A2 = area dinding dengan material 2.

An = area dinding dengan material n.

∑A = A1+A2+……+An

Aoi = luas dinding pada bagian dinding luar i (m2) Luas total ini termasuk semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut;

OTTVi = nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding I (Watt/m2) sebagai hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan

2.6 Life Cycle Cost (LCC)

2.6.1 Analisa Life Cycle Cost

Seringkali suatu bangunan dibangun dengan menggunakan bahan bangunan berkualitas rendah agar didapatkan material dengan harga yang lebih murah. Hal ini dilakukan untuk menurunkan biaya awal dan memperoleh keuntungan yang lebih. Cara ini mengakibatkan bangunan tersebut cepat untuk mengalami kerusakan sehingga menyebabkan pemeliharaan yang lebih rutin daripda seharusnya. Dengan tingginya frekuensi pemeliharaan tersebut maka penggantian dan perbaikan akan semakin sering untuk dilakukan sehingga menghasilkan biaya pemeliharaan yang tinggi. Hasil akhirnya maka biaya keseluruhan siklus proyek juga akan menjadi lebih tinggi.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisa nilai ekonomis sebuah bangunan dengan mempertimbangkan biaya pengoperasian sepanjang umur hidup bangunan adalah metode Life Cycle Cost (LCC). Metode ini juga berguna untuk mengambil keputusan berdasarkan nilai ekonomis dengan mempertimbangkan lokasi, perencanaan teknik dan arsitektur, pembangunan, pengaturan, pengoperasian sampai dengan pembuangan yang diikuti dengan penggantian dari komponen atau sistem selama jangka waktu umur hidup bangunan.

2.6.2 Definisi Life Cycle Cost

Ada beberapa pengertian Life Cycle Cost menurut beberapa ahli, diantaranya sebagai berikut:

a. Menurut Barringer dan Weber (1996), Life Cycle Cost adalah suatu konsep pemodelan perhitungan biaya dari tahap permulaan sampai pembongkaran suatu asset dari sebuah proyek sebagai alat untuk mengambil keputusan atas sebuah studi analisis dan perhitungan dari total biaya yang ada selama siklus hidupnya.
b. Menurut Fuller dan Petersen (1996), Life Cycle Cost adalah suatu metode ekonomi dalam mengevaluasi proyek atas semua biaya yang timbul mulai dari tahap pengelolaan, pengoperasian, pemeliharaan, dan pembuangan suatu

komponen dari sebuah proyek, dimana hal ini dijadikan pertimbangan yang begitu penting untuk mengambil suatu keputusan.

2.6.3 Komponen Biaya pada Life Cycle Cost

Menurut Kelly dan Male (1993) biaya yang terdapat dalam perhitungan *Life Cycle Cost* antara lain sebagai berikut:

a. *Initial Cost* (Biaya Investasi atau Biaya Awal)

   Biaya awal adalah jumlah semua pengeluaran yang dibutuhan mulai dari prastudi sampai proyek selesai di bangun, mulai dari biaya persiapan, biaya perencanaan, biaya konstruksi dan pengawasan.

b. *Maintenance Cost* (Biaya Pemeliharaan)

   Rencana biaya pemeliharaan dan perawatan merupakan kegiatan yang sering tidak di perhitungkan secara jangka panjang dalam pengelolaan suatu konstruksi, tak terkecuali pada rusunawa, sehingga dalam pengoprasiannya sering terjadi permasalahan biaya terutama biaya perawatan berkala yang memerlukan penggantian komponen agar bangunan dapat bekerja sesuai fungsinya.

   Dalam Permen Pu No.45 tahun 2007 menjelaskan bahwa biaya pemeliharaan per m2 bangunan gedung setiap tahunnya di tetapkan maksimum adalah sebesar 2% dari harga bangunan. Permen PU No. 24/PRT/M/2008 menjelaskan bahwa perawatan bangunan rusunawa Merupakan kegiatan memperbaiki dan/atau mengganti bagian bangunan rusunawa dan/atau komponen, bahan bangunan, dan/atau prasarana dan sarana agar bangunan rusunawa tetap layak fungsi. urutan dalam perawatan bangunan

   1. Menetukan komponen yang perlu di gantin berdasarkan umur rencana komponen.
   2. Menghitung volume komponen yang akan di ganti.
   3. Membuat Rencana anggaran biaya penggantian komponen.

Untuk mengetahui biaya perawatan perlu untuk di ketahui umur rencana masing-masing komponen yang perlu di ganti, Penentuan umur komponen yang perlu di ganti adalah Permen Pu No 24 tahun 2008 unutk komponen pengecatatan, dan untuk komponen lain mengunakan perkiraan pemeliharaan dan penggantian komponen gedung yang dibuat oleh Kirk (1995).

c. *Replacement Cost* (Biaya Penggantian)

Biaya ini merupakan biaya yang timbul karena usaha untuk mempertahankan fungsi asli dari suatu bangunan. Biaya di sini termasuk di dalamnya adalah biaya komponen fasilitas, desain ulang, perobohan, perubahan lokasi, biaya buruh material, peralatan, dan overhead.

d. *Energy Cost* (Biaya Energi)

Merupakan penggabungan biaya konsumsi energi dari fasilitas tersebut. Biaya-biaya yang termasuk di dalamnya yaitu biaya listrik, air, minyak, gas alam, batu bara, dan bahan bakar lainnya yang diperlukan dalam pengoperasian fasilitas dan komponen yang ada.

2.6.4 Umur Siklus Hidup

Ashwort (1994) menyatakan bahwa dalam pembiayaan siklus hidup bangunan, usia yang dimaksud dibagi menjadi dua bagian yakni:

1. Usia Bangunan
   a. Usia Fisik: adalah periode antara perolehan awal sampai dengan akhir sebuah aset selama rangkaian kepemilikan.
   b. Usia Fungsional: Fungsi semula bangunan dapat berubah karena adanya perkembangan teknis maupun sosial. Pada keadaan tertentu mungkin cukup dengan menyesuaikan bangunan terhadap perubahan yang terjadi atau bahkan bila perlu mengganti fungsi semula secara menyeluruh.
   c. Usia Ekonomi: atau usia optimum adalah periode waktu (tahun) yang diperkirakan sampai bangunan tersebut dianggap tidak lagi dapat melakukan atau menyelenggarakan fungsinya dan menghasilkan ekuivalen

biaya tahunan seragam (*equivalent uniform annual cost*) minimum dari kepemilikan dan pengoperasian sebuah aset.

2. Usia Komponen

   Usia dari masing-masing komponen yang berada dalam suatu bangunan perlu diperkirakan secara cermat. Komponen yang terpilih kemudian diapasang atau disusun secara tepat dan dijaga secara cermat agar dapat memiliki usia yang hampir tak terbatas. Lamanya usia komponen ini tergantung pada beberapa faktor seperti pemilihan, pembuatan, pemasangan, pemeliharaan, perbaikan umum, dan penggunaan bangunan yang tepat.

Perhitungan umur ekonomis bangunan penting karena dengan mengetahui umur konomisnya bisa memperkirakan waktu dan biaya yang di keluarkan untu pemliharaan dan penggantian. Dalam prosedur dan ketentuan umum perancangan gedung tahan gempa (SNI 03-1726-2002) rata rata umur bangunan bertingkat di indonesai direncanakan selama 50 tahun, dimana diasumsikan kala ulang gempa terjadi 500 tahun sehingga probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana hanya 10%.

2.6.5 Time Value of Money

Uang dapat memberikan hasil pada tingkat suku bunga tertentu melalui investasinya pada suatu periode waktu. Satu dollar yang diterima suatu waktu nilainya tidak sebesar satu dolar di tangan saat ini. Hubungan antara bunga dan waktu menghasilkan konsep nilai-waktu uang (*time value of money*). Uang memiliki nilai waktu karena uang mempunyai daya laba (*earning power*) dan daya beli (*purchasing power*) (Fabricky, 1991).

Menurut Pujawan (2008) untuk melakukan suatu ekivalensi nilai uang kita perlu mengetahui 3 hal, yaitu (1) Jumlah yang dipinjam atau diinvestasikan, (2) Periode waktu peminjaman atau investasi & (3) Tingkat bunga yang dikenakan.

a. Suku Bunga

Menurut Pujawan (2008) ada 2 jenis bunga yang biasa dipakai untuk melakukan perhitungan nilai uang dari waktu, yaitu bunga sederhana (*simple interest*) dan bunga majemuk (*compound interest*). Bunga sederhana dihitung hanya dari induk tanpa memperhitungkan bunga yang telah diakumulasikan pada periode sebelumnya. Pada bunga majemuk besarnya bunga pada seuatu periode dihitung berdasarkan besarnya induk ditambah dengan besarnya bunga yang telah terakumulasi pada periode sebelumnya

b. Rumus Ekivalensi

Fabricky (1991) menyatakan bahwa rumus-rumus perhitungan bunga dapat dibagi ke dalam tiga kelompok yaitu:

1. Pembayaran Tunggal (*Single Payment*)
   a. Rumus jumlah majemuk pembayaran tunggal

      Jika sejumlah P ditanamkan pada suatu titik waktu dan i% merupakan tingkat bunga per periode, jumlahnya akan meningkat pada suatu jumlah di masa mendatang, ditunjukkan pada persamaan 2.5.

$$F = P\,(1+i)^n \tag{2. 5}$$

   b. Rumus nilai sekarang pembayaran tunggal

      Rumus nilai sekarang pembayaran tunggal ini mencari nilai P ditunjukkan pada persamaan 2.6

$$P = F\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) \tag{2. 6}$$

2. Pembayaran Seragam
   a. Rumus jumlah majemuk seri pembayaran sama

      Dalam beberapa kasus, jumlah pengeluaran yang terjadi sama di setiap akhir tahun, ditunjukkan pada persamaan 2.7.

$$F = A\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right) \tag{2. 7}$$

b. Rumus penyimpanan dana seri pembayaran

Yang dicari pada rumus penyimpanan dana seri pembayaran sama adalah A, ditunjukkan pada persamaan 2.8.

$$A = F\ (\frac{i}{(1+i)^n - 1}) \tag{2. 8}$$

c. Rumus pengembalian modal seri pembayaran sama ditunjukkan pada persamaan 2.9.

$$A = P\ \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}\right) \tag{2. 9}$$

d. Rumus nilai sekarang seri pembayaran sama ditunjukkan pada persamaan 2.10.

$$P = A\ \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) \tag{2. 10}$$

3. Pembayaran Gradien (*Gradient Series*)

Terdapat dua metode dalam mengevaluasi pengaruh perubahan pembayaran dengan persamaan gradien, yaitu:

a. Gradien seragam, dimana merupakan perubahan gradient yang konstan. Jumlah awal tahunan A tidak ikut dihitung melainkan dihitung secara terpisah, ditunjukkan pada persamaan 2.11.

$$A = G\ \left(\frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1}\right) \tag{2. 11}$$

b. Gradien geometrik, merupakan perubahan presentase yang konstan, jumlah awal tahunan A ikut dalam perhitungan sehingga besarnya angka perubahan bervariasi (Collier, 1982).

Dengan c = pembayaran awal; r = tingkat pertumbuhan; i = penurunan; w = tingkat pertumbuhan bebas, rumus gradien geometrik terdiri dari:

- Bentuk 1. Jika r > I, ditunjukkan pada persamaan 2.12.

$$P = \frac{C}{1+i}\left(\frac{(1+w)^n-1}{w}\right) \text{ dimana } w = \frac{1+r}{1+i} - 1 \tag{2. 12}$$

- Bentuk 2. Jika r < I, ditunjukkan pada persamaan 2.13.

$$P = \frac{C}{1+r}\left(\frac{(1+w)^n-1}{w(1+w)^n}\right) \text{ dimana } w = \frac{1+r}{1+i} - 1 \tag{2. 13}$$

- Bentuk 3. Jika r = I, ditunjukkan pada persamaan 2.14.

$$P = \frac{Cn}{1+i} \tag{2. 14}$$

2.7 Penelitian Terdahulu

Sebagai bahan referensi untuk penelitian ini, maka akan dijelaskan hasil penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. (Balali & Valipour, 2020)

   Penelitian ini menyatakan bahwa façade adalah bagian dari arsitektur bangunan yang dapat memainkan peran penting dalam mengurangi konsumsi energi, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Jadi penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan material fasad bangunan yang paling sesuai menurut Sustainable Development Goals (SDGs). Uji Friedman dan Analytical Hierarchy Analysis (AHP) digunakan untuk menganalisis data masing-masing menggunakan software SPSS dan Expert Choice. Hasil yang dihasilkan menggambarkan bahwa "bahan fotovoltaik", "bahan termokromik" dan "bahan fotostriktif" adalah alternatif terbaik untuk digunakan dalam fasad bangunan. Hasilnya, para stakeholder dan insinyur bangunan dapat menggunakan alternatif terbaik dari konsep keberlanjutan.

2. Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach. (Govindan, Shankar, & Kannan, 2015)

   Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan model untuk mengevaluasi bahan konstruksi berkelanjutan terbaik berdasarkan indikator berkelanjutan melalui metodologi *hybrid multi criteria decision making* (MCDM) dengan lokasi khusus di UEA. Indikator yang dikumpulkan dari literatur yang ada digunakan dalam evaluasi bahan konstruksi berkelanjutan dengan bantuan responden berbasis sektor konstruksi. Kerangka yang diusulkan divalidasi dengan studi kasus dari perusahaan konstruksi, dan hasilnya dibandingkan dengan literatur yang ada dan umpan balik dari responden. Indikator berkelanjutan yang sesuai dipilih untuk memilih bahan konstruksi berkelanjutan terbaik yaitu indikator *Economic, Environment* dan *Society*. indikator berkelanjutan yang paling berpengaruh yaitu "*Potential for recycling and reuse*" pada kategori *Environment*. Selain itu hasil yang didapat untuk material berkelanjutan terbaik yaitu batu bata wol di antara alternatif lainnya.

3. Life-Cycle Cost Analysis Of Green-Building Implementation Using Timber Applications. (Tam, *et al.*, 2017)

   Penelitian ini menentukan biaya siklus hidup material kayu dalam aplikasinya untuk bangunan tempat tinggal di Australia, yang berkontribusi untuk menganalisis tingkat keberlanjutan. Metodologi terdiri dari pendekatan kuantitatif dimana informasi biaya diperoleh melalui wawancara untuk pemilihan beberapa aplikasi kayu yang dipilih secara spesifik, terhadap tiga kondisi (rendah, sedang, paparan cuaca ekstrim) di dalam bangunan tempat tinggal. Area dalam penerapannya yaitu bekisting; kayu struktural; kayu non struktural; selubung eksternal; area langit-langit; dan, lantai. Spesies kayu bersertifikasi Forest Stewardship Council yang diperlukan untuk digunakan di antara aplikasi yang disebutkan di atas ditemukan melalui studi seperti radiata pine, red gum, blue gum, hoop pine western red cedar, pacific jarrah dan cypress pine. Hasilnya yaitu Radiata

Pine adalah aplikasi kayu yang paling hemat biaya untuk semua aplikasi kecuali dalam aplikasi struktural dimana hanya $3,77 lebih mahal dari Hoop Pine.

4. Comparative life-cycle cost (LCC) study of green and traditional industrial buildings in Sri Lanka. (Weerasinghe, Ramachandra, & Rotimi, 2021)
   Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan implikasi biaya bangunan hijau melalui analisis biaya siklus hidup dengan membandingkan dua bangunan industri bersertifikasi hijau dan satu bangunan tradisional. Data untuk analisis diambil dari catatan anggaran pengeluaran konstruksi, operasi, dan pemeliharaan dari organisasi yang dipilih. Analisis menunjukkan bahwa dalam hal biaya siklus hidup, bangunan industri hijau 17% lebih murah daripada bangunan tradisional. Meskipun biaya konstruksi awal bangunan industri hijau 29% lebih tinggi, biaya operasi dan pemeliharaan bangunan hijau menghasilkan penghematan 23% dan 15% secara keseluruhan selama siklus hidup. Temuan ini memberikan bukti empiris lebih lanjut tentang manfaat bangunan hijau dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

5. Economic sustainability of green buildings: a comparative analysis of green vs non-green. (Weerasinghe & Ramachandra, 2018)
   Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan life cycle cost (LCC) bangunan industri manufaktur bersertifikasi hijau dengan bangunan konvensional yang serupa untuk membangun konsep keberlanjutan bangunan hijau. Metode yang digunakan yaitu analisis studi kasus komparatif dari dua bangunan hijau dan bangunan konvensional yang serupa. Data yang diperlukan untuk melakukan analisis LCC didapat melalui analisis dokumenter. Analisis komparatif menunjukkan bahwa biaya konstruksi bangunan manufaktur industri hijau adalah 37 persen lebih tinggi daripada biaya konstruksi bangunan konvensional serupa sementara biaya operasional menghemat 28%, pemeliharaan 22% dan umur akhir bangunan 11%. Ini menghasilkan penghematan biaya keseluruhan sebesar

21% untuk bangunan hijau. Studi saat ini menunjukkan penilaian dari total LCC bangunan manufaktur industri hijau menawarkan penghematan LCC sebesar 21% selama masa pakainya dibandingkan dengan bangunan konvensional yang serupa. Dengan demikian, analisis komparatif akan memungkinkan investor untuk membuat keputusan berdasarkan informasi sebelum melakukan investasi mereka dan dengan demikian secara tidak langsung mempromosikan konstruksi berkelanjutan di Sri Lanka.

2.7.1 Perbedaan Dari Penelitian Terdahulu

Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu yang telah di uraikan pada sub-bab sebelumnya dapat di lihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

NO	JUDUL PENELITIAN	VARIABEL	METODE	TUJUAN
1	*Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals* (Balali & Valipour, 2020)	*Technical and executive factors, Economic factors, Social factors, Environmental factors, Energy consumption factors*	*Friedman test* dan *Analytical Hierarchy Analysis (AHP)*	Mengidentifikasi material fasad bangunan yang paling sesuai menurut *Sustainable Development Goals* (SDGs). Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: Thermochromic, Photovoltaic, Photochromic, Phosphorescent, Photostrictive, Photoluminescent
2	*Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach*. (Govindan, Shankar, & Kannan, 2015)	*Economic factors, Society factors, Environmental factors*	*Hybrid multi criteria decision making (MCDM)*	Mengusulkan model untuk mengevaluasi bahan konstruksi berkelanjutan terbaik berdasarkan indikator berkelanjutan melalui metodologi hybrid multi criteria decision making (MCDM) yang berlokasi di UEA

3	*Life-Cycle Cost Analysis Of Green-Building Implementation Using Timber Applications*. (Tam, *et al.*, 2017)	*Capital Cost, maintenance cost, Demolition cost*	*Structured interviews, Life cycle cost,*	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan biaya siklus hidup dari berbagai tipe material kayu dalam aplikasinya untuk bangunan tempat tinggal di Australia, yang kemudian berkontribusi dalam menganalisis konsep keberlanjutan
4	*Comparative life-cycle cost (LCC) study of green and traditional industrial buildings in Sri Lanka. (*Weerasinghe, *Ramachandra, & Rotimi, 2021)*	*Construction cost, Operation and maintenance costs, Residual value*	*Life cycle cost, Comparative data analysis*	Menetapkan implikasi biaya bangunan hijau melalui analisis biaya siklus hidup dengan membandingkan dua bangunan industri bersertifikasi hijau dan satu bangunan tradisional.

5	*Economic sustainability of green buildings: a comparative analysis of green vs non-green. (Weerasinghe & Ramachandra, 2018)*	*Construction cost, Running cost*	*Life cycle cost, Comparative case study analysis*	Membandingkan life cycle cost (LCC) bangunan industri manufaktur bersertifikasi hijau dengan bangunan konvensional yang serupa untuk membangun konsep keberlanjutan bangunan hijau.
6	Rencana Penelitian (2021)	*Biaya awal, Biaya operasional & pemeliharaan, Biaya energi, Nilai sisa*	Analisa keuntungan dan kerugian, *Overall Thermal Transfer Value (OTTV), Life cycle cost (LCC), Comparative data analysis*	Mendapatkan usulan material pada fasad bangunan rumah susun dengan biaya Life Cycle Cost yang paling rendah dari perspective green material

2.7.2 Posisi Penelitian

Seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 terdapat serangkaian penelitian terdahulu yang telah dilakukan di oleh para peneliti yang mengambil tema berkaitan dengan penelitian ini yakni mengenai *life cycle cost* dan *green material*. Penelitian ini memiliki beberapa kesamaan yaitu pada konsep atau teori dan metodologi yang digunakan terhadap penelitian terdahulu. Hal yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah pengambilan obyek penelitian dan beberapa metode yang digunakan. Pada penelitian nomor 1 dan 2 tujuan yang akan dihasilkan pun sama yaitu mencari bahan material terbaik yang mendukung proses berkelanjutan. Variabel yang digunakan pun sama yaitu menggunakan pilar *sustainabilty*. Hal ini sama dengan tujuan dari rencana penelitian ini yang bertujuan untuk mencari bahan terbaik dari perspektif *sustainabilty* melalui pendekatan *green material*. Bedanya terletak pada metode yang digunakan, penelitian nomor 1 menggunakan *friedman test* dan *AHP* dan nomor 2 menggunakan *MCDM*. Sedangkan pada rencana penelitian kali ini yaitu menggunakan analisa keuntungan dan kerugian dalam tahap pemilihan materialnya. Untuk penelitian nomor 3, 4 dan 5 berfokus mengenai analisa *life cycle cost* terhadap aspek *green building*. Untuk lebih spesifiknya, penelitian nomor 3 juga berfokus pada pemilihan bahan material hanya saja metode yang digunakan berbeda dari penelitian nomor 1 dan 2. Metode yang digunakan yaitu wawancara setelah itu bahan material terbaik yang sudah dipilih kemudian dianalisa *life cycle cost* nya. Sedangkan pada penelitian nomor 4 dan 5 lebih berfokus mengenai analisa komparatif mengenai perbandingan antara bangunan yang menggunakan konsep green building dan bangunan tradisional dengan bangunan yang serupa. Pada rencana penelitian ini juga akan menggunakan metode yang sama yang sudah digunakan peneliti sebelumnya, yaitu menggunakan metode *life cycle cost* dan analisa komparatif. Analisa komparatif akan digunakan untuk membandingkan total *life cycle cost* bangunan eksisting dan bangunan yang sudah di *re-design* menggunakan usulan *green material*. Pemilihan kriteria material yang digunakan dalam penelitian kali ini juga sama seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya yaitu menggunakan konsep dan prinsip sustainability.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Konsep dan Model Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian analisis perbandingan mengenai *life cycle cost* pada satu bangunan rumah susun eksisting dan membandingkannya dengan rumah susun yang sama setelah menggunakan *green material* terpilih dengan tujuan untuk mendapatkan total biaya siklus hidup. Menurut Misbahuddin (2013) analisis komparatif atau analisis perbedaan adalah bentuk analisis variabel (data) untuk mengetahui perbedaan diantara dua kelompok data (variabel) atau lebih. Sebelum dilakukan metode *life cycle cost,* sebelumnya akan dilakukan pemilihan kriteria material fasad dengan perspective *green material* yang sesuai dengan konsep dan prinsip *sustainability* menggunakan metode analisa keuntungan dan kerugian melalui survei kuesioner. Kuesioner dibuat untuk memperoleh data primer yang disusun berdasarkan parameter-parameter analisis yang dibutuhkan dan relevan dengan maksud dan tujuan penelitian ini. Kuesioner diberikan kepada responden yang ahli dalam mengetahui pada keuntungan maupun kerugian pada masing-masing alternatif. Setelah ditemukan kriteria material dengan peringkat tertinggi, selanjutnya dilakukan analisa penggunaan energi menggunakan metode *Overall Thermal Transfer Value* (*OTTV*). Perencanaan yang berkaitan dengan *OTTV* harus mengacu pada SNI 03-6389 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Umumnya *Overall Thermal Transfer Value* (*OTTV*) untuk bangunan tidak boleh melebihi 45 Watts/m2.

3.2 Identifikasi Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini diperoleh dari hasil kajian pustaka. Variabel-variabel ini kemudian diseleksi agar sesuai dan dapat dipergunakan dalam kesesuaiannya pada bangunan rumah susun melalui survei pendahuluan.

3.2.1 Variabel Sustainability

Berdasarkan prinsip *sustainability* telah didapatkan 3 kriteria yang akan menjadi dasar dalam pemilihan green material atau yang biasa disebut *3 pillars of sustainability*, yaitu faktor sosial, faktor lingkungan dan faktor ekonomi. Dari ketiga faktor tersebut kemudian dibagi lagi menjadi beberapa sub-kriteria seperti yang ditujukkan pada tabel 3.1. Kriteria-kriteria tersebut kemudian akan dijadikan sebagai acuan untuk pemilihan material yang akan digunakan untuk usulan desain rumah susun menggunakan analisa keuntungan dan kerugian.

Tabel 3. 1 Variabel *Sustainability*

NO	VARIABEL	ATRIBUT	SUMBER
1	Faktor Sosial	Keindahan	Govindan, *et al.*, (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat	Govindan, *et al.*, (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Mempertimbangkan nilai sejarah	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
2	Faktor Lingkungan	Rendah atau tidak beracun sama sekali	Govindan, *et al.*, (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Kesesuaian dengan lingkungan setempat	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Kesesuaian dengan iklim setempat	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Mengurangi polusi lingkungan	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Mengurangi panas dalam ruangan	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Mengurangi polusi suara	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)
		Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	Govindan, *et al.*, (2015); Balali & Valipour (2020)

		Penanganan limbah sisa	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018)
		Potensi daur ulang	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018)
		Menghemat sumber daya alam	Govindan, *et al*., (2015); Balali & Valipour (2020)
3	Faktor Ekonomi	Menurunkan biaya konstruksi	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Menurunkan biaya pembelian	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Menurunkan biaya implementasi	Govindan, *et al*., (2015); Balali & Valipour (2020)
		Menurunkan biaya siklus hidup	Govindan, *et al*., (2015); Balali & Valipour (2020)
		Menurunkan biaya perawatan	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018); Balali & Valipour (2020)
		Memenuhi kebutuhan pengguna	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018)
		Kontribusi terhadap pajak	Govindan, *et al*., (2015); Tian, *et al.*, (2018)

3.2.2 Variabel Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

OTTV adalah ukuran perolehan panas eksternal yang ditransmisikan melalui satuan luas selubung bangunan (W/m). 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. Berdasarkan referensi perhitungan OTTV tersebut variabel-variabel dalam penelitian ini beserta data yang diperlukan dapat diidentifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3. 2 Variabel Penelitian OTTV

VARIABEL	ATRIBUT
Konduksi Panas Melalui Dinding. (dinding utara, dinding selatan, dinding barat & dinding timur)	a. Luas façade b. Faktor penyerapan matahari c. Total luas bukaan d. Rasio jendela dan dinding
Konduksi Panas Melalui Jendela. (dinding utara, dinding selatan, dinding barat & dinding timur)	a. Luas facade b. Total luas bukaan c. Rasio jendela dan dinding
Radiasi Matahari Melalui Jendela. (dinding utara, dinding selatan, dinding barat & dinding timur)	a. Luas facade b. Total luas bukaan c. Rasio jendela dan dinding d. Faktor matahari e. Koefisien peneduh f. Koefisien peneduh efektif

3.2.3 Variabel Life Cycle Cost

Komponen dasar dalam *life cycle cost* terdiri dari biaya investasi, biaya administrasi, biaya operasi tahunan, biaya pemeliharaan tahunan, biaya rehabilitasi, biaya pengembangan, biaya pemindahan, dan biaya manajemen tahunan. Kelly dan Male (1993) mengidentifikasi komponen biaya dalam *life cycle costing* sebagai Biaya Awal *(Initial Cost)*, Biaya Operasional dan Pemeliharaan *(Operational and Maintenance Cost)*, Biaya Energi *(Energy Cost)*, Biaya Penggantian *(Replacement Cost)*, dan Nilai Sisa *(Residual or Terminal credits)*. Berdasarkan definisi-definisi di atas life cycle costing dapat diformulasikan sebagai berikut:

LCC = Initial Cost + Cost of Usage + Cost of Care and Replacement

dimana *Initial Cost* (biaya awal) adalah biaya perencanaan dan pelaksanaan pembangunan, *Cost of Usage* (biaya penggunaan) adalah biaya yang dikeluarkan selama operasional bangunan, dan *Cost of Care and Replacement* (biaya perawatan dan penggantian) adalah biaya untuk pemeliharaan dan penggantian komponen penyusun bangunan selama masa desain bangunan (Kaming, 2017).

Dalam penelitian ini perlu diketahui komponen dan sub komponen biaya apa saja yang terdapat dalam bangunan eksisting dan bangunan yang menggunakan usulan *green material* yang akan dihitung untuk dapat mengetahui biaya siklus hidup gedung tersebut. Berdasarkan referensi mengenai *life-cycle costing* tersebut variabel-variabel dalam penelitian ini beserta data yang diperlukan dapat diidentifikasi sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Variabel Penelitian LCC

KOMPONEN BIAYA	SUB KOMPONEN BIAYA
Biaya Awal (*Initial Cost*)	a. Biaya Manajemen Konstruksi b. Biaya Konstruksi c. Biaya Lain-lain
Biaya Operasional & Pemeliharaan (*Operation and Maintenance Cost*)	a. Biaya Operasional Bangunan b. Biaya Pemeliharaan Gedung dan Prasarana
Biaya Energi dan Air (*Energy and Water Cost*)	a. Biaya Listrik b. Biaya Air
Nilai Sisa (*Salvage Value*)	a. Nilai sisa bangunan dihapuskan; atau b. Nilai sisa bangunan dimanfaatkan kembali

3.3 Survei Pendahuluan

Dengan adanya perbedaan budaya dan demografis, indikator dan variabel sustainability dari penelitian terdahulu tidak bisa langsung dijadikan sebagai landasan teori, sehingga untuk mengembangkan dan menerapkannya perlu diadakan penelitian eksploratif pendahuluan. Tujuan dari survei pendahuluan adalah memvalidasi variabel dan kriteria sustainability (lingkungan, sosial, ekonomi dan energi) yang didapatkan dari kajian pustaka dan menambahkan kriteria tambahan yang belum ada di kajian pustaka agar mengetahui relevan atau tidaknya variabel yang digunakan dengan kondisi di Indonesia.

Kuisioner untuk survey pendahuluan tidak menggunakaan skala pengukuran, hanya berisi pilihan jawaban relevan dan tidak relevan. Kuisioner

pendahuluan akan diberikan kepada tenaga expert (ahli/pakar) dan praktisi yang memahami tentang green material tentang pengaplikasiannya pada kondisi bangunan konstruksi di Indonesia. Untuk form kuisioner pendahuluan terlampir pada Lampiran 1.

3.4 Objek, Populasi, Sampel dan Responden Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah bangunan Rusunawa Siwalankerto yang beralamat di Jalan Siwalankerto, Kec. Wonocolo, Kota Surabaya, Jawa Timur. Untuk mendapatkan objek penelitian tersebut, penulis terlebih dahulu mencari informasi mengenai rumah susun yang disubsidi oleh pemerintah dan yang sesuai batasan masalah terkait bangunan yang belum menerapkan atau menggunakan *green material* pada fasad bangunannya. Sampel atau responden penelitian adalah pihak yang sudah berpengalaman dalam menangani proyek bangunan gedung serta pendapat para ahli dibidangnya, dengan rincian responden sebagai berikut:

1. Konsultan Perencana
2. Project Manager
3. Engineering Manager
4. Praktisi/Dosen

Pemilihan responden menggunakan teknik *purposive sampling* yaitu dengan cara memilih anggota populasi yang secara khusus sesuai dengan tujuan penelitian (Sugiyono, 2014). Selain menggunakan teknik *purposive sampling* digunakan juga teknik *snowball sampling* yaitu teknik samping dimana responden akan memberikan rekomendasi kepada peneliti untuk menemui responden lain yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.5 Metode Pengumpulan data

Pengumpulan data primer untuk penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap penyebaran kuisioner (survei pendahuluan dan survei utama) dan wawancara. Pada survei pendahuluan, kuesioner awal dibagikan kepada para ahli dibidangnya terkait material khususnya green material. Mereka diminta untuk memberikan preferensi

mereka terkait dengan variabel green material untuk memvalidasi variabel penelitian. Kuesioner yang telah diperbarui berdasarkan survey pendahuluan kemudian diberikan kepada responden pada survei utama. Survei utama bertujuan untuk mendapatkan bobot variabel dan prioritas/rangking variabel. Hasil survei kuesioner Pembobotan kriteria dan peringkat variabel digunakan untuk memilih kriteria pemilihan green material yang kemudian akan digunakan pada tahapan *overall thermal transfer value*.

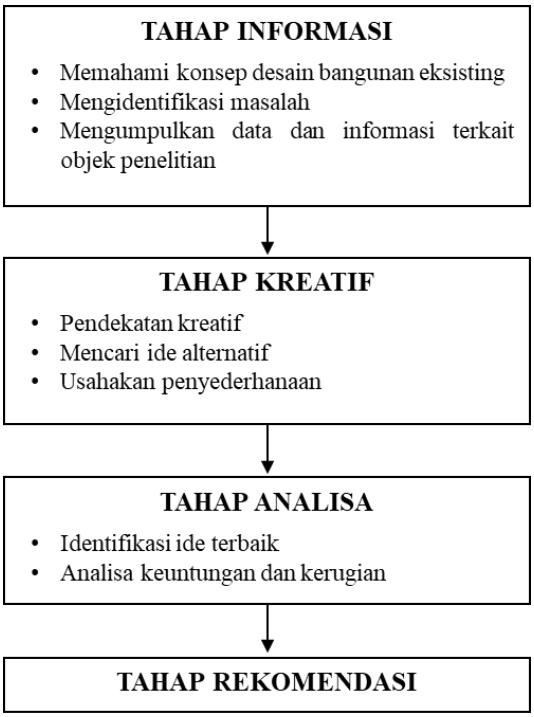
Data primer yang dibutuhkan selanjutnya yaitu data mengenai rincian gambar As Built Drawing dari bangunan Rusunawa Siwalankerto. Pengajuan permohonan data ini akan dilakukan pada Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang sebagai pihak yang terkait dalam pelaksanaan dan perencanaan pembangunan Rusunawa Siwalankerto yang beralamat di Jl. Taman Surya No.1, Ketabang, Kec. Genteng, Kota Surabaya, Jawa Timur. Data mengenai gambar As Built Drawing tersebut akan digunakan sebagai data pelengkap dalam perhitungan OTTV. Selanjutnya data primer yang terakhir yaitu data mengenai laporan cashflow dari Rusunawa Siwalankerto yang terdiri dari data terkait biaya operasional maupun biaya perawatan. Data ini akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan life cycle cost. Pengajuan permohonan data ini akan dilakukan pada Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya sebagai pihak pengelola rumah susun yang beralamat di Jl. Walikota Mustajab, Ketabang, Kec. Genteng, Kota Surabaya, Jawa Timur.

3.6 Analisa Data

3.6.1 Tahap Usulan Alternatif

Ciri khusus dari *value engineering* dalam melakukan evaluasi terhadap aktifitas pekerjaan yang telah ditinjau adalah dengan diterapkannya sistematika yang telah cukup rapi dari awal hingga akhir analisa. Dari sistematika yang telah dilakukan kemudian disusun dalam tahapan-tahapan yang saling berhubungan dan semua dapat menjelaskan secara jelas dan terpadu. Tahapan dari analisa tersebut disebut dengan rencana kerja rekayasa nilai (*Value Engineering Job Plan*)

ditunjukkan pada gambar 3.1. Sesuai dengan tujuan yang akan dicapai, maka dari tahapan-tahapan atau langkah-langkah dalam penelitian tugas akhir ini telah sesuai dengan rencana kerja rekayasa nilai (*Value Engineering Job Plan*) sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Bagan Alir Tahap Usulan Alternatif

a. Tahap Informasi

Tujuan dari tahapan ini adalah untuk memperoleh informasi yang lengkap terhadap obyek dan subyek penelitian. Tahapan ini merupakan awal dari penelitian yang dilakukan, dan aktifitas *Value Engineering* yang dilakukan pada tahap ini adalah :

1. Memahami Konsep Desain eksisting
2. Mengidentifikasikan masalah dan kendala-kendala
3. Mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya berkaitan dengan bangunan rusunawa Siwalankerto.
4. Mengumpulkan data sebanyak-banyaknya dari bangunan yang berkaitan dengan penelitian.

5. Melakukan tahapan wawancara dengan pihak pengelola agar lebih memahami tentang bangunan yang akan diteliti.

b. Tahap Kreatif

Pada tahap ini melakukan pendekatan secara kreatif dengan menggunakan ide-ide penggunaan material yang dipakai yang kemudian di analisis. Output dari tahap ini akan diperoleh alternatif material apa saja yang mungkin akan dipakai. Pada tahap ini juga kemungkinan lain juga akan dianalisis dengan menanyakan apakah ada alternatif lain yang dapat memenuhi fungsi atau kegunaan yang sama dari yang semula diusulkan. Alternatif yang diusulkan mungkin didapat dari pengurangan, penyederhaan atau modifikasi dengan tetap mempertahankan fungsinya. Pada tahap ini pula dilakukan sumbang saran (*brainstorm*) guna mendorong penggunaan imajinasi dan pemunculan ide-ide baru tanpa memikirkan praktis atau sulit tidaknya untuk diimplementasikan. Ide atau usulan material yang muncul pada tahap ini akan ditampung untuk kemudian dianalisis dan dievaluasi lebih mendalam pada tahap analisis.

c. Tahap Analisa

Pada tahapan ini metode yang digunakan adalah analisa keuntungan dan kerugian. Pada analisa keuntungan dan kerugian alternatif-alternatif dinilai keuntungan dan kerugiannya berdasarkan parameter yang telah ditentukan, kemudian diberi bobot nilai sesuai kriteria yang telah ditentukan. Parameter-parameter tersebut berdasarkan kriteria 3 pilar sustainability. Analisa keuntungan dan kerugian ini dilakukan untuk memilih 3 alternatif terbaik dari seluruh alternatif yang dihasilkan pada tahap usulan berdasarkan nilai keuntungan dan kerugiannya. Penilaian dari setiap item kerja ini bersifat kualitatif, yaitu dilakukan dengan memberikan rangking untuk setiap item kerja sesuai dengan urutan keuntungan dan kerugiannya. Sehingga alternatif dengan rangking tertinggi memiliki keuntungan lebih banyak dengan kerugian sedikit, sedangkan alternatif dengan rangking terendah memiliki keuntungan sedikit dengan kerugian lebih banyak.

Untuk pemberian rangking pada pada analisa ini dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor yang sesuai dengan prinsip *sustainability*. Adapun aturan untuk pemberian rangking adalah sebagai berikut :

1. Rangking tertinggi diberikan pada alternatif dengan keuntungan lebih banyak, kerugian paling sedikit.
2. Rangking – rangking berikutnya diberikan pada alternatif dengan keuntungan lebih sedikit dari rangking sebelumnya dan memiliki kerugian lebih banyak dari rangking sebelumnya.
3. Rangking terendah diberikan pada alternatif dengan keuntungan lebih sedikit dan memiliki kerugian paling banyak.

Dalam melakukan analisa keuntungan dan kerugian ini digunakan tabel yang menunjukkan beberapa keuntungan dan kerugian dari beberapa alternatif yang didapat. Adapun tabel analisa keuntungan dan kerugian dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini :

Tabel 3. 4 Form tabel analisa keuntungan dan kerugian

No	Alternatif	Keuntungan	Nilai	Kerugian	Nilai	Total	Rangking

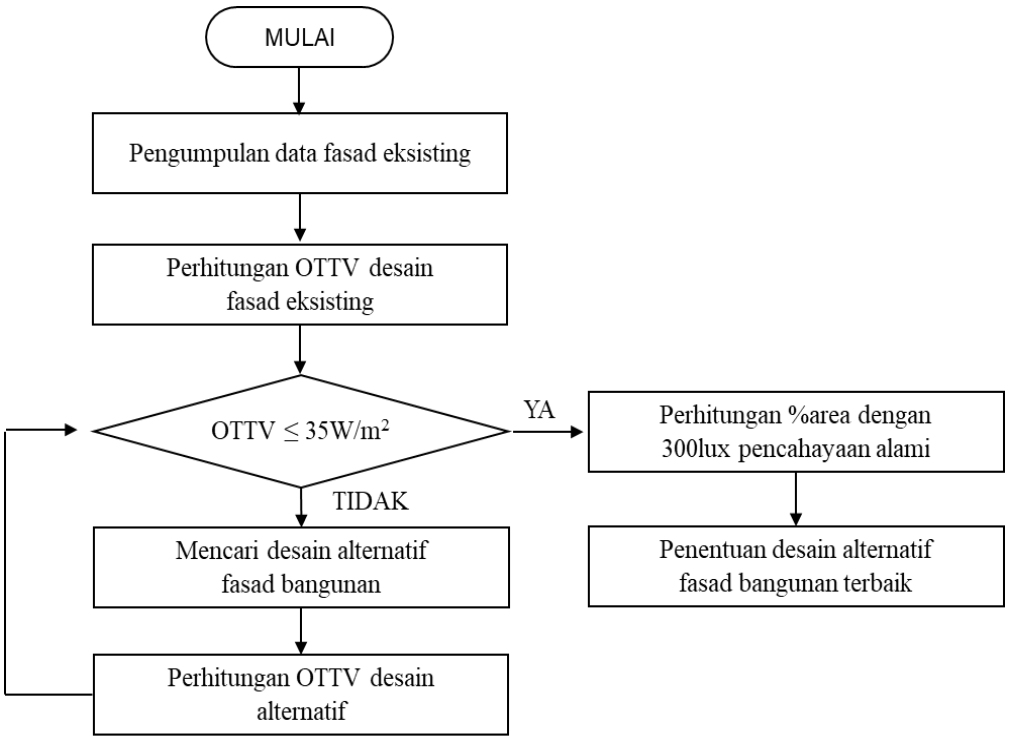
d. Tahap Rekomendasi

Setelah melakukan analisa terhadap alternatif-altenatif pada tahap analisa langkah terakhir pada rencana kerja rekayaya nilai adalah tahap rekomendasi. Pada tahap ini dipilih beberapa alternatif desain terbaik dengan memberikan dasar-dasar pertimbangannya yang sudah didapatkan pada tahap analisa.

3.6.2 Analisa Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Setelah didapatkan alternatif material dari analisa keuntungan dan kerugian, selanjutnya akan dilakukan tahapan dengan menggunakan metode OTTV. Dengan menggunakan metode tersebut akan dilakukan perbandingan antar material terpilih

mana yang paling efisien terhadap konsumsi energi. Urutan analisa data dengan OTTV ditunjukkan pada gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Bagan Alir Metode OTTV

Dalam prosesnya, ketiga material tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam tahap proses usulan desain terhadap fasad bangunan rumah susun. Tahapan usulan desain disini berarti mendesain ulang fasad eksisting yang ada dan menambahkan komponen dari ketiga material tersebut. Tahapan ini diperlukan untuk mengetahui berapa rasio penggunaan kedua material tersebut terhadap lapisan selubung bangunan yang ada. Fasad eksisting yang ada akan didesain ulang dengan menambahkan komponen dari material tersebut dan kemudian akan didesain menggunakan kaidah dan prinsip arsitektur yang ada. Kaidah desain sendiri adalah aturan, patokan dan ukuran yang dijadikan acuan dalam merancang dalam arsitektur sehingga dapat menghasilkan rancangan yang sesuai dengan kriteria-kriteria yang sudah ditetapkan. Sementara itu prinsip desain merupakan suatu kebenaran umum dalam merancang yang diterima banyak orang sebagai

pengguna bangunan. Kaidah atau prinsip desain yang yang digunakan yaitu irama, tekanan atau kontras yang memperkuat komposisi, keterpaduan atau unity, keseimbangan, proporsi, skala dan harmonisasi. Fasad memperhatikan komposisi dengan mempertimbangkan syarat fungsional. Secara visual komposisi fasad meliputi bentuk geometri (garis, sisi, sudut, dan bidang), tekstur, serta bidang void. Fasad sendiri terdiri dari berbagai komponen. Berikut ini komponen utama fasad menurut Krier (1998): pintu, jendela, dinding, teritisan dan sun shading. Dalam penelitian ini komponen fasad yang di re-design adalah dinding luar atau selubung bangunan. Selubung bangunan adalah komponen tak tembus cahaya (misalnya dinding) yang memisahkan interior bangunan dari lingkungan luar. Selubung bangunan memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan luar yang tidak dikehendaki seperti panas, radiasi, angin, hujan, kebisingan, polusi dll. Selubung bangunan memiliki peran penting dalam mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan dan pencahayaan (Pergub DKI Jakarta No. 38/2012). Jadi material yang digunakan hanya sebagai pelapis struktur utama bangunan itu sendiri. Material tersebut hanya digunakan sebagai pelapis dinding dari bangunan sedangkan struktur utamanya tetap menggunakan batu bata atau bata ringan sesuai kondisi eksisting rumah susun. Setelah proses tahapan desain tersebut maka akan diketahui berapa rasio atau volume penggunaan material-material tersebut. Rasio penggunaan material tersebut akan digunakan sebagai bahan perhitungan dari lapisan selubung bangunan pada metode OTTV. Dari tahapan proses tersebut kemudian akan dipilih material terbaik terhadap konsumsi energi dari ketiga material yang ada. Setelah itu ketiga material tersebut akan dilanjutkan dalam perhitungan life cycle cost. Metode dan pelaksanaan penelitian yang dilakukan melalui urutan proses yang dilakukan sebagai berikut:

1. Menganalisa 3D bangunan eksisting;
2. Menentukan nilai A dinding dan atap dengan menggunakan area yang tersedia;
3. Menghitung nilai wall ratio (WWR), WWR merupakan perbandingan antara bukaan kaca dengan luas bidang pada sisi yang dihitung;
4. Menentukan Uvalue dengan cara menghitung nilai konduktivitas termal bahan (k), setelah itu menentukan nilai resistivitas bahan (R), setelah mendapatkan

nilai R selanjutnya menghitung R' dengan ketebalan bahan yang sesuai data eksisting;

5. Menghitung nilai Absorbtansi Bahan (α), yaitu menentukan warna dari bahan material yang digunakan, setiap warna memiliki nilai tersendiri yang sudah ditetapkan dan tertulis pada SNI 2011,
6. Menghitung beda temperatur ekuivalen (TDek), nilai ini ditentukan berdasarkan material yang ada dalam struktur dinding dan atap yang dihitung, nilai yang didapat dikonversikan dengan tabel nilai TDek yang telah tertulis pada SNI 2011;
7. Menghitung nilai koefisien peneduh (SC);
8. Menentukan faktor radiasi sinar matahari (SF) berdasarkan orientasi matahari daerah setempat;
9. Setelah semua nilai diketahui maka nilai OTTV pada orientasi yang ditentukan dapat dihitung;
10. Menghitung nilai RTTV pada bangunan;
11. Tahap terakhir menghitung OTTV partial dan RTTV pada setiap orientasi guna melihat apakah nilai total OTTV sudah berada pada standar yang berlaku yaitu 35w/m^2.

3.6.3 Analisa Life Cycle Cost (LCC)

Analisis *life cycle cost* ini bertujuan untuk menghitung keseluruhan biaya (*total cost*) dari suatu bangunan. Untuk mencapai tujuan tersebut langkah-langkah yang dilakukan adalah:

a. Mengidentifikasi Biaya

   Pada tahap ini dilakukan penelusuran biaya yang terlibat ke pihak-pihak yang terkait dengan mempelajari desain yang ada untuk mengetahui komponen apa saja yang terdapat pada Gedung tersebut. Biaya-biaya yang telah teridentifikasi kemudian dilakukan penggolongan ke dalam kategori biaya yang telah ditentukan sebelumnya yaitu: biaya awal, biaya operasional dan pemeliharaan, dan biaya energi.

b. Mengestimasi Biaya

Biaya-biaya yang belum diketahui jumlahnya harus diestimasi untuk dapat dihitung. Cara mengestimasi biaya tersebut adalah dengan menggunakan pendekatan biaya, yaitu dengan menggunakan data pendukung estimasi.

c. Metode Nilai Sekarang

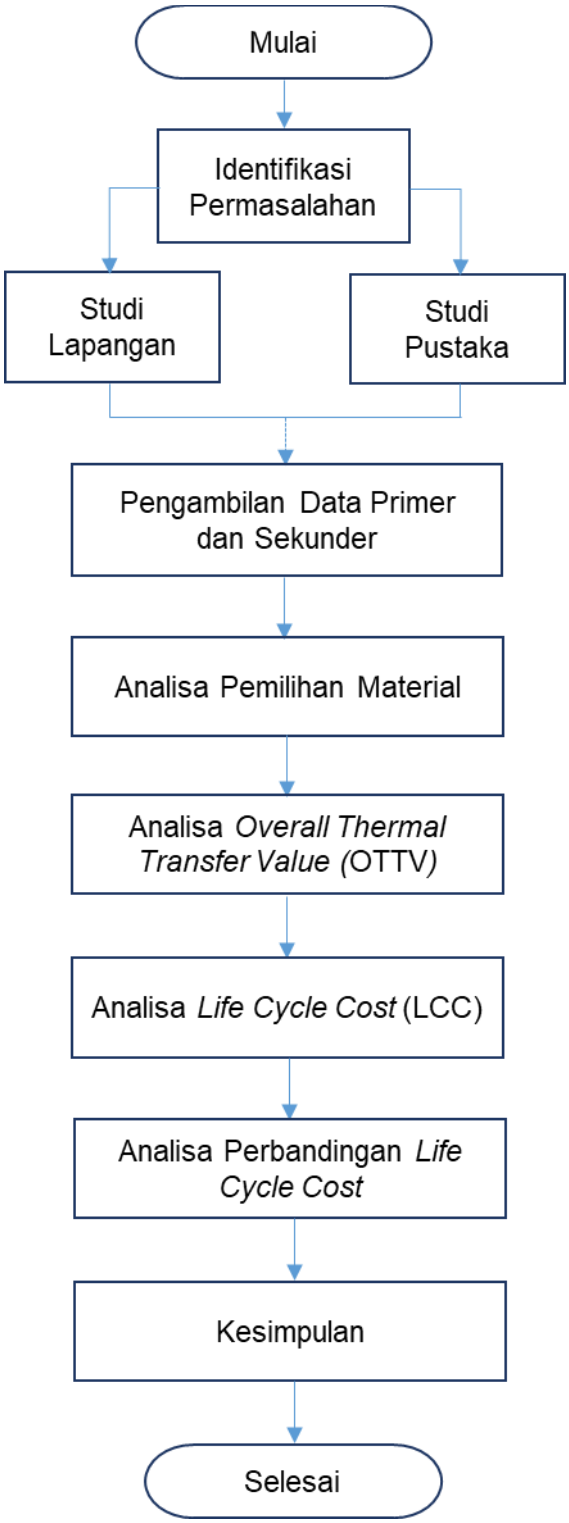
Untuk menghitung keseluruhan biaya tersebut digunakan metode nilai sekarang (*Present Worth Method*) dimana semua biaya dikonversikan ke nilai sekarang (P) dan dijumlahkan sehingga P yang diperoleh mencerminkan nilai netto dari keseluruhan biaya yang terjadi sepanjang siklus. Karena adanya *time value of money*, maka digunakan rumus-rumus bunga dalam perhitungannya. Dari perhitungan akan diperoleh hasil *Present Worth* (PW) dan diberikan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh tersebut. Analisis dilakukan dengan masa siklus 50 tahun dan tingkat bunga yang dipakai untuk melakukan konversi adalah tingkat diskonto (*discount rate*) yang didapat dari Bank Indonesia.

3.6.4 Analisis Perbandingan Life Cycle Cost

Setelah didapatkan hasil perhitungan life cycle cost untuk bangunan eksisting dan bangunan dengan usulan *green material* kemudian dilakukan normalisasi ke dalam besaran luasan bangunan masing masing-masing gedung dalam unit m2 untuk didapatkan nilai biaya per unit area gedung dalam satuan (Rp/m2). Dampak biaya dari green building didapatkan dari perbandingan hasil nilai biaya per unit dari area bangunan eksisting dan bangunan dengan usulan *green material* dan ditampilkan dalam persentase.

3.7 Proses Penelitian

Secara garis besar penelitian dimulai dari memilih variabel sustainability melalui metode kuesioner, kuesioner sendiri dibagi menjadi 2 bagian yaitu kuesioner pendahuluan dan kuesioner utama, setelah terpilih material terbaik melalui analisa keuntungan dan kerugian kemudian dilanjutkan dengan perhitungan OTTV untuk menentukan besaran energi yang diperlukan suatu bangunan berdasarkan masing-masing material yang digunakan dalam fasad bangunan dan yang terakhir adalah menghitung LCC selama masa siklus hidup bangunan tersebut untuk melihat material mana yang terbaik dari sisi energi dan biaya yang dihasilkan selama umur bangunan yang ditetapkan sebelumnya. Proses penelitian dapat ditunjukkan dalam bagan alir pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Bagan Alir Proses Penelitian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Obyek Penelitian

Rusunawa Siwalankerto terletak di jalan Siwalankerto Timur V Mulyosari, Kecamantan Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur. Letak Rusunawa Siwalankerto sendiri masih berbatasan dengan jalan tol dan sawah seperti ditunjukkan pada gambar 4.1. Rusunawa Siwalankerto terdiri dari 2 tahap pembangunan. Pembangunan tower rusun yang pertama yaitu Rusunawa Siwalankerto Tahap I yang selesai dibangun pada tahun 2017, penghuni rusunawa ini sendiri berfokus pada masyarakat umum. Sedangkan pembangunan tower rusun yang kedua yaitu Rusunawa Siwalankerto Tahap II yang selesai dibangun pada tahun 2020, berbeda dengan rusun tahap I, tahap II ini sendiri lebih berfokus kepada masyarakat berpenghasilan rendah. Karena rusunawa ini dibangun untuk mewadahi masyarakat Kota Surabaya yang terkena dampak urban renewal dan normalisasi bantaran sungai yang menjadi proyek utama pemerintah Kota Surabaya. Jadi objek penelitian yang dipilih untuk penelitian ini adalah Rusunawa Siwalankerto Tahap II yang berfokus pada masyarakat berpenghasilan rendah (MBR). Karena pada dasarnya rumah susun dibangun dan dibiayai oleh pemerintah untuk didedikasikan bagi MBR, jadi diharapkan rumah susun yang ada bisa menekan biaya operasional dan biaya perawatannya selama siklus hidup bangunan tersebut melalui pendekatan material *sustainability*.

Gambar 4. 1 Lokasi Rusunawa Siwalankerto (7°20'36"S 112°44'19"E)

Rusunawa sewa siwalankerto merupakan kerjasama antara pemerintah Proponsi jawa timur Dinas Permukiman dengan Perumnas Regional VI Jawa Timur. Sebagian besar biaya perawatan lingkungan dan kelestarian bangunan disubsidi oleh pemerintah kota dari APBD. Rusunawa sewa Siwalankerto terdiri dari 7 blok. Dimana pada masing-masing blok berjumlah 5 lantai dan tiap pada 2 blok merupakan zona tersendiri yang masing-masing memiliki ruang terbuka berupa lapangan.

- Alamat : Jl. Siwalankerto Timur, Kecamatan Wonocolo, Kota Surabaya
- Luas Lahan : 22.000 m^2
- Jumlah Unit : 64 unit, dengan luas unit hunian yaitu 24 m^2
- Fasilitas : Komersial, ibadah, aula, dan parkir
- Sasaran penghuni : Masyarakat Berpenghasilan Rendah
- Sumber dana : APBD 2018
- Tarif sewa/bulan : Biaya sewa bervariasi dari Rp. 43.000 - Rp. 96.000 tergantung dari pemilihan lantai kamar yang disewa. Tarif sewa rumah susun di Kota Surabaya diatur dalam Perwali Surabaya No 13 tahun 2015 tetang TARIF SEWA RUMAH SUSUN SEDERHANA SEWA DI KOTA SURABAYA.
  - Lantai I : Rp. 96.000,- (sembilan puluh enam ribu rupiah);
  - Lantai II : Rp. 86.000,- (delapan puluh enam ribu rupiah);
  - Lantai III : Rp. 76.000,- (tujuh puluh enam ribu rupiah);
  - Lantai IV : Rp. 62.000,- (enam puluh dua ribu rupiah);
  - Lantai V : Rp. 43.000,- (empat puluh tiga ribu rupiah).

Bangunan rumah susun adalah tower pertama dari dua tower rumah susun yang direncanakan untuk dibangun di kawasan rumah susun. Bangunan memiliki 5 lantai dengan sebagian besar unit hunian terletak di lantai 1 sampai 5. Setiap lantai tipikal memiliki 14 unit hunian tipe 24 yang ditujukan untuk 2 sampai 3 penghuni setiap unitnya. Dari perhitungan total terdapat 64 unit hunian ditambah 2 unit hunian di lantai dasar sesuai dengan standard bangunan rusun. Lantai dasar lebih

difokuskan pada fasilitas penunjang bangunan seperti, kantor, musholla, ruang serba guna, utilitas, dan ruang parkir. Koridor menggunakan tipe single loaded dengan ruang terbuka di bagian tengah bangunan. Hanya terdapat satu tangga akses pada bangunan yang terletak di bagian sentral. Bangunan rumah susun Siwalankerto memiliki dimensi panjang ±37m dan lebar ±15m.

Module unit hunian dalam rumah susun didesain dengan standard kebutuhan ruang hidup di bangunan vertikal berfungsi sebagai hunian. Setiap unit terdiri dari 1 kamar tidur, 1 kamar mandi, 1 ruang yang mencakup area tamu dapur dan makan, dan balkon/ruang jemur. Ruang dalam unit terdiri dari tiga ruang akhir dan satu ruang sirkulasi. Ruang keluarga dari unit hunian memiliki konsep open plan dengan fungsi LDK (Living, Dining, Kitchen) dimana satu ruang memiliki fungsi dari tiga ruang. Ruang menjadi jalur masuk utama dari koridor public bangunan rumah susun. Jalur masuk utama terhubung dengan daerah tamu unit hunian (living) yang memiliki sifat area semi publik unit hunian. Ruang tamu memiliki sifat area semi publik dan ruang makan dan dapur bersifat lebih privat. Sebagai ruang sirkulasi dalam unit hunian ruang ini memiliki luas area sebesar 15,56m^2 dengan pembagian ruang 40% ruang tamu, 20% ruang makan, 20% dapur dan 20% sirkulasi. Ruang kamar tidur sebagai ruang akhir memiliki dimensi lebar ±2m dengan panjang ±2,6m dan ketinggian dinding ±2,7m. Ruang kamar memiliki area sebesar ±5,2m^2 dengan volume ruang ±14,04m^3. Ruang memiliki fungsi ruang tidur dengan aktivitas sampingan penyimpanan dan interaksi. Dimensi-dimensi tersebut berada di bawah luas ruang kamar tidur yang disarankan untuk tipe 24 yaitu 8,89 hingga 10,86m^2. Akses dari kamar tidur berada di area dapur dari ruang keluarga yang memiliki konsep open plan LDK (Living, Dining, Kitchen). Kamar mandi digunakan sebagai ruang mandi dan juga ruang cuci bagi penghuni unit hunian. Fasilitas dalam kamar mandi diperkirakan menggunakan toilet duduk dengan bak mandi sebagai kamar mandi basah. Ruang kamar mandi memiliki lebar ±1,8m dengan panjang ±2m dan ruang kepala setinggi ±2,5m. Luas area ruang berada di ±3,6m^2 dengan total volume ruang 9,72 m^3. Celling (tinggi ruangan) banyak terpotong karena digunakan untuk pipa utilitas.

4.2 Analisa Data Kuesioner

Deskripsi data pada penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran atau pemaparan dari penelitian yang sudah dilakukan di lapangan. Untuk mendapatkan data tentang pokok penelitian, digunakan instrumen berupa kuesioner. Kuesioner yang dibagikan kepada responden terdiri dari 2 tipe. Tipe kuesioner pertama yang dibagikan kepada responden adalah kuesioner pendahuluan yang terdiri dari 22 pertanyaan dengan 2 alternatif jawaban. Dengan rincian jumlah soal untuk kategori faktor sosial sebanyak 5 soal, faktor lingkungan sebanyak 10 soal dan faktor ekonomi sebanyak 7 soal. Tujuan dari kuesioner ini adalah memvalidasi variabel dan kriteria sustainability (lingkungan, sosial, ekonomi dan energi) yang didapatkan dari kajian pustaka dan menambahkan kriteria tambahan yang belum ada di kajian pustaka melalui proses brainstorming agar relevan dengan kondisi di Indonesia. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan budaya dan demografis, jadi indikator dan variabel sustainability dari penelitian terdahulu tidak bisa langsung dijadikan sebagai landasan teori. Kuisioner untuk survey pendahuluan tidak menggunakaan skala pengukuran, hanya berisi pilihan jawaban relevan dan tidak relevan. Hasil akhir dari kuesioner pendahuluan yaitu untuk manyaring kriteria yang ada agar sesuai dengan kondisi lingkungan di Indonesia

Tipe kuesioner yang kedua adalah kuesioner utama. Survei utama bertujuan untuk mendapatkan bobot variabel dan prioritas/rangking variabel. Pembobotan kriteria dan peringkat variabel ini nantinya dilakukan dengan menggunakan analisa keuntungan dan kerugian. Kuesioner utama ini terdiri dari total 68 pertanyaan yang dibagi kedalam 4 kategori material yang masing-masing terdiri dari 17 pertanyaan untuk setiap materialnya. Pada tahapan ini responden diminta untuk memberikan penilaiannya pada setiap pertanyaan dengan nilai 1-4. Material yang memiliki total nilai teringgi berarti memiliki keuntungan yang lebih banyak daripada material yang memiliki nilai yang lebih kecil.

4.2.1 Analisa Deskriptif Responden Penelitian

Data deskriptif yang didapatkan dari responden menyangkut 4 hal, yaitu jenis kelamin, latar belakang pekerjaan, pengalaman kerja, dan latar belakang

pendidikan. Analisis deskriptif ini dilakukan agar dapat memberikan gambaran mengenai keadaan responden yang dapat digunakan sebagai informasi tambahan dalam hasil penelitian. Pada sub bab berikut, dijabarkan mengenai data-data deskriptif responden penelitian

a. Deskripsi jenis kelamin

Deskripsi jenis kelamin responden, terdiri atas dua karakteristik yaitu laki-laki dan perempuan. Tabel 4.1 menunjukkan deskripsi jenis kelamin responden.

Tabel 4. 1 Jenis kelamin responden

Keterangan	Jumlah	Persentase
Laki-laki	36	73.5%
Perempuan	13	26.5%
Total	49	100%

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4.1 menunjukkan responden terdiri dari laki-laki dan perempuan. Hasil deskripsi responden menunjukkan mayoritas responden adalah laki-laki sebanyak 36 orang atau 73.5% sedangkan perempuan sebanyak 13 orang atau 26.5%.

b. Deskripsi latar belakang pekerjaan

Karakteristik responden berdasarkan pekerjaan ditunjukkan pada tabel 4.2:

Tabel 4. 2 Latar belakang pekerjaan responden

Keterangan	Jumlah	Persentase
Konsultan	26	53.1%
Kontraktor	13	26.5%
Arsitek	5	10.2%
Praktisi/dosen	2	4.1%
Lain-lain	3	6.1%
Total	49	100%

(Sumber: Penulis, 2021)

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa responden terbagi menjadi 5 kategori pekerjaan. Pengumpulan data yang telah dilakukan menghasilkan data responden mayoritas adalah responden yang bekerja sebagai konsultan yaitu sebanyak 26 responden atau 53.1%. Sedangkan lain-lain terdiri dari pekerja freelance dan pegawai pemerintahan sebanyak 3 orang atau 6.1%.

c. Deskripsi pengalaman kerja

Karakteristik berdasarkan lama pengalaman kerja ditunjukkan pada tabel 4.3:

Tabel 4. 3 Pengalaman kerja responden

Keterangan	Jumlah	Persentase
<5 tahun	19	38.8%
5 – 10 tahun	25	51%
> 5 tahun	5	10.2%
Total	49	100%

(Sumber: Penulis, 2021)

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa responden dibedakan menjadi tiga kategori yaitu < 5 tahun, 5-10 tahun dan > 5 tahun. Dari hasil analisis deskriptif di atas, dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden adalah mereka dengan pengalaman kerja 5-10 tahun sebanyak 25 responden atau 51%.

d. Deskripsi latar belakang pendidikan

Karakteristik responden berdasarkan latar belakang pendidikan ditunjukkan pada tabel 4.2:

Tabel 4. 4 Latar belakang pendidikan

Keterangan	Jumlah	Persentase
S1	38	77.6%
S2	9	18.4%
Lain-lain	2	4.1%
Total	49	100%

(Sumber: Penulis, 2021)

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa responden dibedakan menjadi tiga kategori. Dari hasil analisis deskriptif di atas, dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden adalah mereka dengan latar belakang pendidikan S1 sebanyak 38 responden atau 77.6%. Sedangkan lain-lain terdiri dari latar belakang pendidikan SMK - Diploma sebanyak 2 responden atau 4.1%.

4.2.2 Analisa Deskriptif Kuesioner Pendahuluan

Berdasarkan hasil dari kuesioner pendahuluan, beberapa kriteria yang telah didapat dari kajian pustaka pada penelitian terdahulu ternyata tidak relevan untuk digunakan dalam konteks rumah susun di Indonesia. Sebelumnya kriteria yang didapat dari berbagai sumber berjumlah 25 kriteria, setelah dilakukan survei pendahuluan kemudian menjadi 18 kriteria. Kriteria menjadi tidak relevan jika responden yang memilih lebih dari 50%, berlaku juga untuk pilihan yang relevan, kriteria menjadi relevan jika hasilnya lebih dari 50%. Menurut beberapa responden pada kuesioner pendahuluan terdapat 8 variabel yang tidak relevan untuk digunakan pada konteks rumah susun dan iklim setempat.

a. Faktor sosial. Kriteria yang tidak relevan pada kategori faktor sosial adalah kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat; kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat; meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan; dan mempertimbangkan nilai sejarah. Dari 5 kriteria yang terdapat pada faktor sosial 4 diantaranya tidak relevan dan hanya 1 yang relevan yaitu kriteria keindahan. Hal ini dikarenakan konsep sosial, budaya, arsitektur maupun pengetahuan mengenai *sustainability* tidak dibutuhkan oleh penghuni maupun pengelola rumah susun bertipe MBR. Sementara itu kriteria keindahan menjadi relevan karena keindahan wajib digunakan oleh setiap bangunan baik yang dikhususkan untuk MBR maupun bangunan untuk masyarakat umum. Hasil dari kategori faktor sosial ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor sosial

Kriteria Sustainability	Jumlah Responden	
	Relevan	Tidak Relevan
Keindahan	48 (98%)	1 (2%)
Kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat	18 (37%)	31 (63%)
Kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat	17 (35%)	32 (65%)
Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan	16 (33%)	33 (67%)
Mempertimbangkan nilai sejarah	14 (29%)	35 (71%)

(Sumber: Penulis, 2021)

b. Faktor lingkungan. Pada kategori yang ke dua yaitu faktor lingkungan, dari 10 kriteria yang ada semuanya relevan untuk digunakan pada konteks rumah susun di Indonesia. Kriterianya yaitu rendah atau tidak beracun sama sekali; kesesuaian dengan lingkungan setempat; kesesuaian dengan iklim setempat; mengurangi polusi lingkungan; mengurangi panas dalam ruangan; mengurangi polusi suara; mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca; penanganan limbah sisa; potensi daur ulang; dan menghemat sumber daya alam. Semua kriteria yang digunakan menjadi relevan karena secara tidak langsung kriteria yang telah disebutkan akan berpengaruh terhadap penghuni didalamnya dan lingkungan sekitarnya. Hasil dari kategori faktor sosial ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor lingkungan

Kriteria Sustainability	Jumlah Responden	
	Relevan	Tidak Relevan
Rendah atau tidak beracun sama sekali	49 (100%)	0 (0%)
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	40 (82%)	9 (18%)
Kesesuaian dengan iklim setempat	48 (98%)	1 (2%)
Mengurangi polusi lingkungan	47 (96%)	2 (4%)
Mengurangi panas dalam ruangan	48 (98%)	1 (2%)

Mengurangi polusi suara	46 (94%)	3 (6%)
Mengurangi panas perkotaan	49 (100%)	0 (0%)
Penanganan limbah sisa	48 (98%)	1 (2%)
Potensi daur ulang	49 (100%)	0 (0%)
Menghemat sumber daya alam	48 (98%)	1 (2%)

(Sumber: Penulis, 2021)

c. Faktor ekonomi. Pada kategori yang terakhir yaitu faktor ekonomi dari 7 kriteria yang ada hanya 1 yang tidak relevan. Untuk kriteria yang tidak relevan adalah kontribusi terhadap pajak. Sedangkan kriteria yang relevan menurut responden yaitu biaya konstruksi; biaya pembelian; biaya implementasi; biaya siklus hidup; biaya perawatan; dan memenuhi kebutuhan pengguna. Kriteria menjadi relevan karena kriteria yang telah disebutkan sebagian besar menganai biaya selama proses konstruksi hingga penggunaanya karena semua biaya yang dikeluarkan pada akhirnya akan menjadi perhitungan untuk biaya sewa. Karena pada objek penelitian ini adalah rumah susun untuk masyarakat berpenghasilan rendah maka biaya yang dikeluarkan harus seminimal mungkin. Hasil dari kategori faktor sosial ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil kuesioner pendahuluan pada kategori faktor ekonomi

Kriteria Sustainability	Jumlah Responden	
	Relevan	Tidak Relevan
Biaya konstruksi	39 (80%)	10 (20%)
Biaya pembelian	45 (92%)	4 (8%)
Biaya implementasi	46 (94%)	3 (6%)
Biaya siklus hidup	49 (100%)	0 (0%)
Biaya perawatan	47 (96%)	2 (4%)
Memenuhi kebutuhan pengguna	32 (65%)	17 (35%)
Kontribusi terhadap pajak	9 (18%)	40 (82%)

(Sumber: Penulis, 2021)

Kriteria terpilih berdasarkan kuesioner pendahuluan ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Kriteria sustainability yang relevan menurut responden

Faktor	Kriteria
Faktor Sosial	Keindahan
Faktor Lingkungan	Rendah atau tidak beracun sama sekali
	Kesesuaian dengan lingkungan setempat
	Kesesuaian dengan iklim setempat
	Mengurangi polusi lingkungan
	Mengurangi panas dalam ruangan
	Mengurangi polusi suara
	Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca
	Penanganan limbah sisa
	Potensi daur ulang
	Menghemat sumber daya alam
Faktor Ekonomi	Biaya konstruksi
	Biaya pembelian
	Biaya implementasi
	Biaya siklus hidup
	Biaya perawatan
	Memenuhi kebutuhan pengguna

(Sumber: Penulis, 2021)

Kriteria yang tidak relevan yang telah disebutkan sebelumnya kemudian tidak akan digunakan pada kuesioner utama. Hasil dari survey pendahuluan yang berjumlah 18 kriteria tersebut kemudian akan digunakan untuk kuesioner utama untuk mendapatkan peringkat dari material yang telah dipilih berdasarkan 18 variabel yang tersedia pada analisa keuntungan dan kerugian.

4.3 Analisa Pemilihan Material

Analisa yang akan dilakukan untuk memilih material yaitu dengan melalui tahapan yang berorientasi pada fungsi-fungsi yang diperlukan pada setiap item yang

ditinjau untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Analisa setiap fungsinya sendiri nantinya akan menggunakan metode analisa keuntungan dan kerugian. Dalam tahapan ini setiap item yang ditinjau akan dirinci baik keuntungannya maupun kerugiannya dan dipilih berdasarkan hal tersebut agar menghasilkan produk yang diinginkan. Dari sistematika yang telah dilakukan kemudian disusun dalam tahapan-tahapan yang saling berhubungan dan semua dapat menjelaskan secara jelas dan terpadu.

4.3.1 Tahap Informasi

Tujuan dari tahap ini adalah untuk memperoleh informasi yang lengkap tentang objek dan subjek penelitian. Pencarian informasi dilakukan untuk menemukan kriteria keberlanjutan, sub kriteria dan sampel penelitian. Untuk tujuan penelitian ini, makalah, buku, sumber online, dan laporan terkait digunakan sebagai alat pengumpulan informasi. Selain itu, beberapa wawancara dilakukan dengan para ahli untuk menambah informasi. Hasilnya didapatkan kriteria dan sub-kriteria dari aspek *sustaianbility* seperti yg ditunjukkan pada tabel analisa kuesione pendahuluan. Selain itu informasi yang didapat mengenai kondisi eksisting penelitian juga didapatkan melalui berbagai sumber seperti nilai *solar factor* untuk perhitungan suhu eksisting hingga informasi mengenai objek penelitian rusun Siwalankerto itu sendiri seperti denah dan tampak bangunan guna mendukung proses *redesign* dalam metode selanjutnya.

4.3.2 Tahap Kreatif

Pada tahap ini pula dilakukan sumbang saran (*brainstorm*) guna mendorong penggunaan imajinasi dan pemunculan ide-ide baru tanpa memikirkan praktis atau sulit tidaknya untuk diimplementasikan. Ide atau usulan material yang muncul pada tahap ini akan ditampung untuk kemudian dianalisis dan dievaluasi lebih mendalam pada tahap analisis. Berikut ini beberapa contoh usulan green material yang kemudian akan diusulkan untuk digunakan sebagai material fasad bangunan. Material yang akan diusulkan pada fasad yaitu:

1. Kayu

   Fasad berbasis kayu modern dianggap sebagai pilihan yang tepat untuk arsitektur modern yang baru serta untuk proses rekonstruksi yang sudah ada, karena kayu meningkatkan nilai estetika dan artistik objek dan menyediakan koneksi ke arsitektur regional juga (Jelena Ivanovi´c dkk, 2015).

2. Batu Alam

   Batu alam telah banyak digunakan sebagai pelapis eksterior fasad. Salah satu fungsi karakteristik utamanya yang bertujuan sebagai estetika dengan variasi tekstur dan pola yang memberikan karakter homogen yang unik. Berbagai macam pola batu yang digunakan dapat menggambarkan dan mencerminkan preferensi gaya individu dari pemilik bangunan, arsitek atau bahkan keduanya (Iqbal Marie, 2013).

3. Aluminium

   Di sektor bangunan, penerapan paduan aluminium dalam struktur pembawa beban serta selubung bangunan telah mendapat perhatian selama beberapa dekade terakhir. Selain itu aluminium juga telah menjadi material yang paling disukai untuk sistem façade karena karakteristik yang diinginkan seperti kekuatan, ringan, kemampuan ekstrusi, dan ketahanan korosi (Masoumeh Akbari dkk, 2020).

4. Keramik

   Pilihan keramik sebagai lapisan luar untuk dipasang di dinding luar memiliki beberapa karakteristik yang menguntungkan: sifat termal, seperti titik leleh tinggi (tahan api); kapasitas isolasi karena konduktivitas rendah, yang menjamin ketahanan yang baik terhadap aliran panas dengan ketebalan yang memadai. Keuntungan tambahan dari memilih pelapis keramik adalah juga daya tahan bahan jenis ini dan karakteristiknya dalam hal tahan api (Wi S dkk, 2019).

Karena material yang diusulkan akan digunakan bahan pertimbangan untuk rumah susun bagi masyarakat berpenghasilan rendah maka material yang diusulkan haruslah material yang harganya relatif tidak terlalu mahal dan umum digunakan

untuk bangunan di Indonesia yang beriklim tropis. Empat material yang disulkan sebelumnya kemudian akan dijadikan sebagai acuan dalam pemelihan material terbaik berdasarkan konsep *sustainability* beserta kriterianya.

4.3.3 Tahap Analisa

Pada tahapan ini metode yang digunakan adalah analisa keuntungan dan kerugian. Pada analisa keuntungan dan kerugian alternatif-alternatif dinilai keuntungan dan kerugiannya berdasarkan parameter yang telah ditentukan, kemudian diberi bobot nilai sesuai kriteria yang telah ditentukan. Parameter-parameter tersebut berdasarkan kriteria 3 pilar sustainability. Ada dua langkah dalam tahap analisa ini, yang pertama yaitu melakukan kuesioner yang berisi 68 pernyataan yang berkaitan dengan variabel pemilihan green material. Pernyataan yang terdapat dalam kuesioner mengharuskan responden memberikan bobot penilaian terhadap 4 material yang telah diusulkan pada tahap kreatif berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengetahui keuntungan dan kerugian masing-masing alternatif material. Kuesioner dan parameter yang akan digunakan pada pengisian kuesioner ditunjukkan pada lampiran penelitian. Selanjutnya pada langkah yang kedua adalah menjumlah nilai yang telah didapat pada masing-masing material untuk ditentukan ranking nya. Material yang memiliki jumlah terbanyak akan mendapatkan peringkat teratas begitu juga sebaliknya material yang memiliki jumlah nilai yang sedikit akan memiliki peringkat terendah. Dari ke 4 material yang ada, 3 material dengan peringkat tertinggi akan digunakan sebagai bahan *redesign* untuk rusun siwalankerto yang akan dihitung nilai OTTV nya.

4.3.3.1 Analisa Deskriptif Kuesioner Utama

Berdasarkan hasil kuisioner pendahuluan, beberapa variabel yang relevan akan digunakan dalam kuisioner utama. Kuesioner ini merupakan penilaian responden terhadap material yang telah dipilih pada tahap brainstorming berdasarkan kriteria *sustaianbility*. 49 responden akan memilih nilai pada skala 1-4 dari 4 material yang ada, nilai 1 untuk yang paling sedikit dan nilai 4 untuk yang

paling banyak. Nilai yang ditetapkan oleh setiap responden tentunya akan berbeda-beda, sehingga nilai yang dipilih pada hasil akhir didasarkan pada nilai yang memiliki jumlah teripilih paling banyak yang dipilih oleh responden. Hasil akhir kuesioner utama ditunjukkan pada tabel 4.9 untuk material kayu, tabel 4.10 untuk material batu alam, tabel 4.11 untuk material aluminium dan tabel 4.12 untuk material keramik.

Tabel 4. 9 Hasil kuesioner utama – Material 1 "Kayu"

Kriteria	Value			
	1	2	3	4
Keindahan	0 (0%)	1 (2%)	37 (76%)	11 (22%)
Rendah atau tidak beracun sama sekali	0 (0%)	0 (0%)	3 (6%)	46 (94%)
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	0 (0%)	1 (2%)	5 (10%)	43 (88%)
Kesesuaian dengan iklim setempat	2 (4%)	34 (69%)	8 (16%)	5 (10%)
Mengurangi polusi lingkungan	0 (0%)	1 (2%)	2 (4%)	46 (94%)
Mengurangi panas dalam ruangan	0 (0%)	3 (6%)	38 (78%)	8 (16%)
Mengurangi polusi suara	2 (4%)	37 (76%)	8 (16%)	2 (4%)
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	0 (0%)	0 (0%)	3 (6%)	46 (94%)
Penanganan limbah sisa	0 (0%)	0 (0%)	3 (6%)	46 (94%)
Potensi daur ulang	0 (0%)	0 (0%)	2 (4%)	47 (96%)
Menghemat sumber daya alam	1 (2%)	2 (4%)	1 (2%)	45 (92%)
Biaya konstruksi	0 (0%)	2 (4%)	3 (6%)	44 (90%)
Biaya pembelian	1 (2%)	1 (2%)	10 (20%)	37 (76%)
Biaya implementasi	0 (0%)	2 (4%)	6 (12%)	41 (84%)
Biaya siklus hidup	0 (0%)	7 (14%)	34 (69%)	8 (16%)
Biaya perawatan	1 (2%)	5 (10%)	31 (63%)	12 (24%)
Memenuhi kebutuhan pengguna	0 (0%)	0 (0%)	7 (14%)	42 (86%)

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 10 Hasil kuesioner utama – Material 2 “Batu alam”

Kriteria	Value			
	1	2	3	4
Keindahan	0 (0%)	0 (0%)	4 (8%)	45 (92%)
Rendah atau tidak beracun sama sekali	0 (0%)	1 (2%)	12 (24%)	36 (73%)
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	0 (0%)	0 (0%)	38 (78%)	11 (22%)
Kesesuaian dengan iklim setempat	0 (0%)	9 (18%)	36 (73%)	4 (8%)
Mengurangi polusi lingkungan	0 (0%)	2 (4%)	9 (18%)	38 (78%)
Mengurangi panas dalam ruangan	0 (0%)	4 (8%)	41 (84%)	4 (8%)
Mengurangi polusi suara	0 (0%)	7 (14%)	36 (73%)	6 (12%)
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	0 (0%)	5 (10%)	4 (8%)	40 (82%)
Penanganan limbah sisa	2 (4%)	36 (73%)	10 (20%)	1 (2%)
Potensi daur ulang	2 (4%)	34 (69%)	12 (24%)	1 (2%)
Menghemat sumber daya alam	0 (0%)	4 (8%)	44 (90%)	1 (2%)
Biaya konstruksi	5 (10%)	40 (82%)	3 (6%)	1 (2%)
Biaya pembelian	41 (84%)	5 (10%)	3 (6%)	0 (0%)
Biaya implementasi	5 (10%)	41 (84%)	2 (4%)	1 (2%)
Biaya siklus hidup	2 (4%)	39 (80%)	5 (10%)	3 (6%)
Biaya perawatan	0 (0%)	35 (71%)	10 (20%)	4 (8%)
Memenuhi kebutuhan pengguna	0 (0%)	0 (0%)	10 (20%)	39 (80%)

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 11 Hasil kuesioner utama – Material 3 “Aluminium”

Kriteria	Value			
	1	2	3	4
Keindahan	0 (0%)	4 (8%)	44 (90%)	1 (2%)
Rendah atau tidak beracun sama sekali	7 (14%)	40 (82%)	2 (4%)	0 (0%)
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	4 (8%)	38 (78%)	6 (12%)	1 (2%)
Kesesuaian dengan iklim setempat	1 (2%)	3 (6%)	4 (8%)	41 (84%)
Mengurangi polusi lingkungan	1 (2%)	45 (92%)	3 (6%)	0 (0%)
Mengurangi panas dalam ruangan	1 (2%)	3 (6%)	5 (10%)	40 (82%)

Mengurangi polusi suara	0 (0%)	4 (8%)	39 (80%)	6 (12%)
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	4 (8%)	45 (92%)	0 (0%)	0 (0%)
Penanganan limbah sisa	1 (2%)	3 (6%)	41 (84%)	4 (8%)
Potensi daur ulang	1 (2%)	5 (10%)	37 (76%)	6 (12%)
Menghemat sumber daya alam	5 (10%)	41 (84%)	2 (4%)	1 (2%)
Biaya konstruksi	0 (0%)	1 (2%)	42 (86%)	6 (12%)
Biaya pembelian	0 (0%)	3 (6%)	45 (92%)	1 (2%)
Biaya implementasi	0 (0%)	1 (2%)	39 (80%)	9 (18%)
Biaya siklus hidup	0 (0%)	3 (6%)	2 (4%)	44 (90%)
Biaya perawatan	0 (0%)	1 (2%)	3 (6%)	45 (92%)
Memenuhi kebutuhan pengguna	0 (0%)	0 (0%)	5 (10%)	44 (90%)

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 12 Hasil kuesioner utama – Material 4 “Keramik”

Kriteria	Value			
	1	2	3	4
Keindahan	1 (2%)	0 (0%)	36 (73%)	12 (24%)
Rendah atau tidak beracun sama sekali	0 (0%)	2 (4%)	44 (90%)	3 (6%)
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	31 (63%)	12 (24%)	5 (10%)	1 (2%)
Kesesuaian dengan iklim setempat	0 (0%)	11 (22%)	36 (73%)	2 (4%)
Mengurangi polusi lingkungan	0 (0%)	5 (10%)	44 (90%)	0 (0%)
Mengurangi panas dalam ruangan	0 (0%)	4 (8%)	43 (88%)	2 (4%)
Mengurangi polusi suara	0 (0%)	8 (16%)	39 (80%)	2 (4%)
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	1 (2%)	7 (14%)	40 (82%)	1 (2%)
Penanganan limbah sisa	8 (16%)	39 (80%)	2 (4%)	0 (0%)
Potensi daur ulang	5 (10%)	30 (61%)	13 (27%)	1 (2%)
Menghemat sumber daya alam	4 (8%)	41 (84%)	3 (6%)	1 (2%)
Biaya konstruksi	6 (12%)	36 (73%)	6 (12%)	1 (2%)
Biaya pembelian	43 (88%)	2 (4%)	3 (6%)	1 (2%)
Biaya implementasi	5 (10%)	39 (80%)	5 (10%)	0 (0%)
Biaya siklus hidup	2 (4%)	9 (18%)	37 (76%)	1 (2%)

Biaya perawatan	0 (0%)	5 (10%)	40 (82%)	4 (8%)
Memenuhi kebutuhan pengguna	0 (0%)	1 (2%)	7 (14%)	41 (84%)

(Sumber: Penulis, 2021)

4.3.3.2 Analisa Deskriptif Metode Keuntungan dan Kerugian

Pada tahapan ini dilakukan penjumlahan nilai yang telah didapat pada masing-masing material untuk ditentukan ranking nya. Material yang memiliki jumlah terbanyak akan mendapatkan peringkat teratas begitu juga sebaliknya material yang memiliki jumlah nilai yang sedikit akan memiliki peringkat terendah. Nilai yang didapatkan setiap material berdasarkan nilai yang paling banyak dipilih oleh responden pada keusioner utama. Hasil akhir metode keuntungan dan kerugian ditunjukkan pada tabel 4.13 untuk material kayu, tabel 4.14 untuk material batu alam, tabel 4.15 untuk material aluminium dan tabel 4.16 untuk material keramik.

Tabel 4. 13 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 1 “Kayu”

Keuntungan	Nilai	Kerugian	Nilai	Total
Keindahan	3	Kesesuaian dengan iklim setempat	2	60
Rendah atau tidak beracun sama sekali	4	Mengurangi polusi suara	2	
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	4			
Mengurangi polusi lingkungan	4			
Mengurangi panas dalam ruangan	3			
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	4			
Penanganan limbah sisa	4			
Potensi daur ulang	4			
Menghemat sumber daya alam	4			
Biaya konstruksi	4			
Biaya pembelian	4			
Biaya implementasi	4			
Biaya siklus hidup	4			
Biaya perawatan	4			

Memenuhi kebutuhan pengguna	4			

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 14 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 2 “Batu alam”

Keuntungan	Nilai	Kerugian	Nilai	Total
Keindahan	4	Penanganan limbah sisa	2	48
Rendah atau tidak beracun sama sekali	4	Potensi daur ulang	2	
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	3	Biaya konstruksi	2	
Kesesuaian dengan iklim setempat	3	Biaya pembelian	1	
Mengurangi polusi lingkungan	4	Biaya implementasi	2	
Mengurangi panas dalam ruangan	3	Biaya siklus hidup	2	
Mengurangi polusi suara	3	Biaya perawatan	2	
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	4			
Memenuhi kebutuhan pengguna	4			
Menghemat sumber daya alam	3			

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 15 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 3 “Aluminium”

Keuntungan	Nilai	Kerugian	Nilai	Total
Keindahan	3	Rendah atau tidak beracun sama sekali	2	51
Kesesuaian dengan iklim setempat	4	Kesesuaian dengan lingkungan setempat	2	
Mengurangi panas dalam ruangan	4	Mengurangi polusi lingkungan	2	
Mengurangi polusi suara	3	Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	2	
Penanganan limbah sisa	3	Menghemat sumber daya alam	2	
Potensi daur ulang	3			
Biaya konstruksi	3			
Biaya pembelian	3			
Biaya implementasi	3			

Biaya siklus hidup	4			
Biaya perawatan	4			
Memenuhi kebutuhan pengguna	4			

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 16 Hasil metode keuntungan dan kerugian – Material 4 “Keramik”

Keuntungan	Nilai	Kerugian	Nilai	Total
Keindahan	3	Kesesuaian dengan lingkungan setempat	1	43
Rendah atau tidak beracun sama sekali	3	Penanganan limbah sisa	2	
Kesesuaian dengan iklim setempat	3	Potensi daur ulang	2	
Mengurangi polusi lingkungan	3	Menghemat sumber daya alam	2	
Mengurangi panas dalam ruangan	3	Biaya konstruksi	2	
Mengurangi polusi suara	3	Biaya pembelian	1	
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	3	Biaya implementasi	2	
Biaya siklus hidup	3			
Biaya perawatan	3			
Memenuhi kebutuhan pengguna	4			

(Sumber: Penulis, 2021)

4.3.4 Tahap Rekomendasi

Setelah menganalisis alternatif-alternatif pada tahap analisis, langkah terakhir dalam rencana kerja rekayasa nilai adalah tahap rekomendasi. Hasil analisa profit dan loss kemudian akan diranking sesuai dengan poin yang didapat sebelumnya. Peringkat tertinggi memiliki lebih banyak keuntungan dengan lebih sedikit kerugian, sedangkan alternatif dengan peringkat terendah memiliki sedikit keuntungan dengan lebih banyak kerugian. Peringkat akhir pemilihan material menurut *sustainability* ditunjukkan pada tabel 4.17

Tabel 4. 17 Ranking material berdasarkan konsep *sustainability*

Material	Poin	Ranking
Kayu	60	1
Aluminium	51	2
Batu Alam	48	3
Keramik	43	4

(Sumber: Penulis, 2021)

4.4 Analisa Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Tahapan penghitungan OTTV akan dilakukan selama 4 kali, yaitu penghitungan OTTV bangunan eksisting, bangunan redesign dengan menggunakan material kayu, aluminium composite panel, dan batu alam sesuai dengan material yang didapatkan pada tahap perankingan analisa keuntungan dan kerugian. Detail redesign yang akan dilakukan pada tahapan OTTV ditunjukkan pada tabel 4.18. Bangunan eksisting Rusunawa Siwalankerto adalah bangunan yang sudah ada dan tidak mengalami renovasi mayor berdasarkan data yang diperoleh dari pihak pengelola bangunan. Didalam proses penghitungan OTTV bangunan eksisting, nilai setiap item didapat berdasarkan kondisi aktual bangunan. Sedangkan proses penghitungan OTTV pada bangunan yang telah di re-design akan menggunakan nilai sesuai dengan bahan material yang akan diusulkan nantinya. Selain itu tidak hanya mengubah nilai α berdasarkan material yang diusulkan, tetapi juga nilai shading coefficient (SC) bangunan eksisting juga perlu diperhatikan karena SC eksisting memiliki nilai yang relatif cukup besar, hal ini bisa mempengaruhi nilai akhir dari OTTV itu sendiri. Detail perhitungan yang dilakukan ditunjukkan pada tabel 4.18. Langkah perhitungan OTTV akan dilakukan sesusai dengan tahapan yang sudah dijelaskan pada bab 3.

Tabel 4. 18 Detail redesign bangunan Rusunawa Siwalankerto

No	Perhitungan	Keterangan
1	Eksisting	Perhitungan bangunan eksisting

2	Redesign A	Perhitungan menggunakan fasad kayu dengan perubahan shading coefficient
3	Redesign B	Perhitungan menggunakan fasad ACP dengan perubahan shading coefficient
4	Redesign C	Perhitungan menggunakan fasad batu alam dengan perubahan shading coefficient

4.4.1 Konsep Redesign

Pada tahapan redesign fasad bangunan eksisting yang ada, akan didesain ulang dengan menambahkan komponen dari material yang telah diusulkan menggunakan konsep kontemporer. Arsitektur kontemporer adalah bentukan arsitektur yang menggabungkan desain inovatif dan kreatif (Mwaniki, 2019). Pendekatan metafora arsitektur merupakan upaya berarsitektur untuk menghadirkan makna, kiasan atau ungkapan yang diwujudkan dalam bangunan dengan harapan akan menimbulkan tanggapan dari orang yang menikmati atau memakai karyanya (Rimmer, 1997). Dalam proses bermetafora atau bukan, dalam proses perancangan umumnya berpatokan pada tujuan untuk menghadirkan karya arsitektur yang mempunyai nilai-nilai estetika. Sedangkan proses metafora sendiri adalah proses berarsitektur yang mencoba memberikan pemaknaan kritis dan unik (Johnson, 1992), sehingga arsitektur tersebut mampu hadir dalam makna yang berbeda dengan apa yang dipikirkan oleh orang lain atau “nyeleneh” tetapi masih mengekpresikan bentuk-bentuk visual yang simbolik dan mudah dipahami secara umum (Mwaniki, 2019).

Nilai-nilai simbolik dalam arsitektur kontemporer adalah mencoba menggabungkan desain-desain yang inovatif dan kreatif yang dimaksudkan agar bangunan menjadi dominan sehingga menjadi pusat yang diperhatikan dan patut dihargai. Nilai simbolik merupakan ekspresi tanda-tanda yang spesifik sehingga akan menghadirkan kontras dan keragaman dalam lingkungannya. Ciri khas elemen arsitektur kontemporer sendiri terletak pada ekspresi bentuk dan desain. Ornamen-ornamen arsitektur menggabungkan desain inovatif dan kreatif

yang dimaksudkan untuk diperhatikan dan dihargai. Arti estetika sangat ditekankan dalam desain struktur, walaupun juga bisa dilakukan dengan kombinasi bahan untuk menghadirkan kontras atau keseragaman. Selain itu ketika sebuah desain dirancang, maka aspek-aspek estetika juga harus dipenuhi. Penilaian estetika bangunan dapat dilakukan dengan melakukan kajian elemen-elemen bangunan, seperti : harmony, proporsi, keseimbangan, simetri, kontras, patern, dekorasi, building massing, kesatuan dan irama. (Vinchu, *et.al.* 2017).

4.4.2 Analisa OTTV Bangunan Eksisting

4.4.1.1 Perhitungan Windows to Wall Ratio (WWR)

a. Sisi utara
   - Material
     - Jendela kaca : 42,8 m^2
     - Batako : 385,7 m^2
     - ACP : 20,7 m^2
   - Total dinding : 406 m^2
   - Total fasad : 449 m^2
   - WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{42.8}{449} = 0{,}0954$

b. Sisi selatan
   - Material
     - Jendela kaca : 47,6 m^2
     - Batako : 379,8 m^2
     - ACP : 20,7 m^2
   - Total dinding : 400 m^2
   - Total fasad : 448 m^2
   - WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{47.6}{448} = 0{,}1062$

c. Sisi timur
   - Material
     - Batako : 191 m^2
   - Total dinding : 191 m^2
   - Total fasad : 191 m^2
   - WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{191} = 0$

d. Sisi barat
- Material
  - Batako : 197 m^2
- Total dinding : 197 m^2
- Total fasad : 197 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{197} = 0$

e. Luas atap : 575,81 m^2

4.4.1.2 Nilai Transmitan Bahan

a. Kaca

Terdiri atas susunan material Kaca Bening dengan ketebalan 6 mm.

- SC Kaca : 0,91
- U Kaca : 5,25 W/m degC

b. Dinding ACP

Tabel 4. 19 Kombinasi material ACP

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.017
Batako	7	1.21	0.83	0.058
Udara	10	0.625	1.60	0.16
Alumunium	0.4	220	0.00455	0.000018182

$$U\ ACP = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Udara + R.ACP + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}16 + 0{,}000018182 + 0{,}044}$$

$= 2{,}51$ W/m2 degC

c. Dinding batako

Tabel 4. 20 Kombinasi material batako

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.017
Batako	7	1.21	0.83	0.058

$$U\ Batako = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Plester + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}000018182 + 0{,}044}$$

$= 3.92$ W/m2 degC

d. Atap dak beton

Tabel 4. 21 Kombinasi material dak beton

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	2	0.9	1.11	0.022
Beton	10	1.44	0.69	0.069

$$U\ Beton = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Beton + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0.022 + 0{,}069 + 0{,}044}$$

$= 3.91$ W/m2 degC

4.4.1.3 Beda Temperatur Ekuivalen

Untuk mencari nilai perbedaan temperatur ekuivalen (Δteq), maka perlu diketahui berat bahan setiap material setelah itu dilihat apakah masuk kategori ringan, sedang atau berat. Nilai berat setiap jenis material dapat dilihat pada tabel 4.22 dan nilai TDek pada tabel 4.23.

Tabel 4. 22 Berat jenis material

Bahan	Berat Jenis (kg/m3)	Tebal (m)	berat (kg/m2)
Kaca	2579	0.006	15,47
ACP	2672	0.004	10,69
Batako	1250	0.07	87,5
Plester	1568	0.015	23,52
Beton	2400	0.1	240

Tabel 4. 23 Nilai TDek

Jenis Konstruksi	Berat (kg/m2)	TDEk
Dinding - Ringan	< 125	15
Dinding - Sedang	125 - 195	12
Dinding - Berat	> 195	10
Atap - Ringan	< 50	24
Atap - Sedang	50 - 230	20
Atap - Berat	> 230	16

Tabel 4. 24 Nilai TDek terhadap berat jenis material

Kombinasi bahan	kg/m2	TDEk
a. Kaca = kaca	15.47	15
b. ACP = plester + batako + ACP	121.71	15
c. Batako = plester + batako + plester	134.54	12
d Beton = Beton + plester	263.52	16

4.4.1.4 Absorbtansi Radiasi Matahari (Nilai α)

Tabel 4. 25 Nilai α terhadap setiap jenis material

Bahan	α dinding	α cat	Rata-rata
ACP	0.12	0.88	0.5
Granit	0.87	0.92	0.895
Batako	0.86	0.3	0.58
Beton	0.86	0.88	0.87

4.4.1.5 Faktor Radiasi Matahari (Solar Factor)

Tabel 4. 26 Nilai solar factor (SF)

Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	Atap
SNI 03-6389-2000	130	113	112	97	97	176	243	211	428

4.4.1.6 Perhitungan OTTV Parsial

a. OTTV Utara = $\alpha\ ACP\ x\ [U\ ACP\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ ACP\ x\ \%ACP +$
$a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$
$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ SF\ Utara) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}5\ x\ [2{,}51\ x\ (0{,}90462374)]\ x\ 15\ x\ 0{,}052 +$
$0{,}58\ x\ [3{,}92\ x\ (0{,}90462374)]\ x\ 12\ x\ 0{,}95 +$
$(0{,}91\ x\ 0{,}0954\ x\ 130) + (5{,}25\ x\ 0{,}0954\ x\ 5)$

$= 0{,}8664 + 23{,}417 + 11{,}283 + 2{,}5036 = 38{,}07\ w/m^2$

b. OTTV Selatan = $\alpha\ ACP\ x\ [U\ ACP\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ ACP\ x\ \%ACP +$
$a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$
$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ SF\ Selatan) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ \Delta T)$
$= 0{,}5\ x\ [2{,}51\ x\ (0{,}89375674)]\ x\ 15\ x\ 0{,}052 +$
$0{,}58\ x\ [3{,}92\ x\ (0{,}89375674)]\ x\ 12\ x\ 0{,}95 +$
$(0{,}91\ x\ 0{,}1062\ x\ 97) + (5{,}25\ x\ 0{,}1062\ x\ 5)$
$= 0{,}8686 + 23{,}118 + 9{,}3781 + 2{,}7889$
$= 36{,}15\ w/m^2$

c. OTTV Timur
$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$
$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ SF\ Timur) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}58\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1 +$
$(0{,}91\ x\ 0\ x\ 112) + (5{,}25\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 27{,}27 + 0 + 0$
$= 27{,}27\ w/m^2$

d. OTTV Barat
$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$
$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ SF\ Barat) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}58\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1 +$

$(0{,}91\ x\ 0\ x\ 112) + (5{,}25\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 27{,}27 + 0 + 0$

$= 27{,}27\ w/m^2$

e. Total OTTV Dinding Parsial

$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara) + (\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan) + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat)}{\Sigma\ dinding\ utara + \Sigma\ dinding\ selatan + \Sigma\ dinding\ timur + \Sigma\ dinding\ barat}$$

$$= \frac{(449{,}17x38{,}07) + (448{,}03x36{,}15) + (190{,}98x27{,}27) + (196{,}78x27{,}27)}{449 + 448{,}03 + 190{,}98 + 196{,}78}$$

$$= \frac{43873{,}68}{1284{,}96} = 34{,}14\ w/m^2$$

4.4.1.7 Perhitungan RTTV

$$\text{RTTV} = \frac{\Sigma\ atap\ x\ U\ beton\ x\ TDek\ x\ a\ beton}{\Sigma\ atap}$$

$$= \frac{575{,}81 \text{ x } 3{,}91 \text{ x } 16 \text{ x } 0{,}87}{575{,}81} = 54{,}45\ w/m^2$$

4.4.1.8 Perhitungan OTTV Keseluruhan

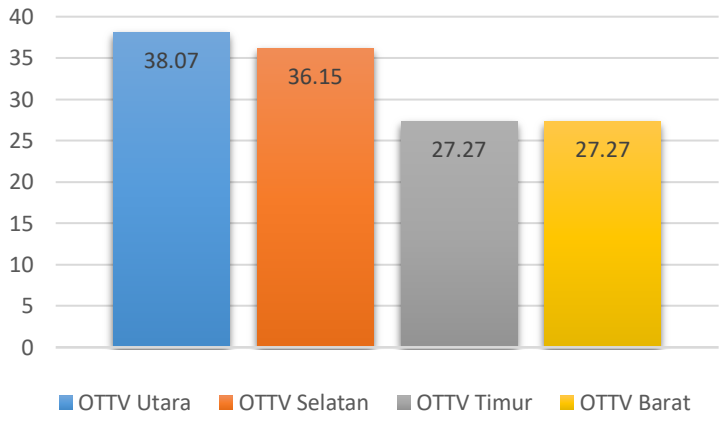
$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara) + (\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan) + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat) + (\Sigma\ atap\ x\ RTTV)}{\Sigma\ dinding\ utara + \Sigma\ dinding\ selatan + \Sigma\ dinding\ timur + \Sigma\ dinding\ barat + \Sigma\ atap}$$

$$= \frac{(449{,}17x38{,}07) + (448{,}03x36{,}15) + (190{,}98x27{,}27) + (196{,}78x27{,}27) + (575{,}81x54{,}45)}{449 + 448{,}03 + 190{,}98 + 196{,}78 + 575{,}81}$$

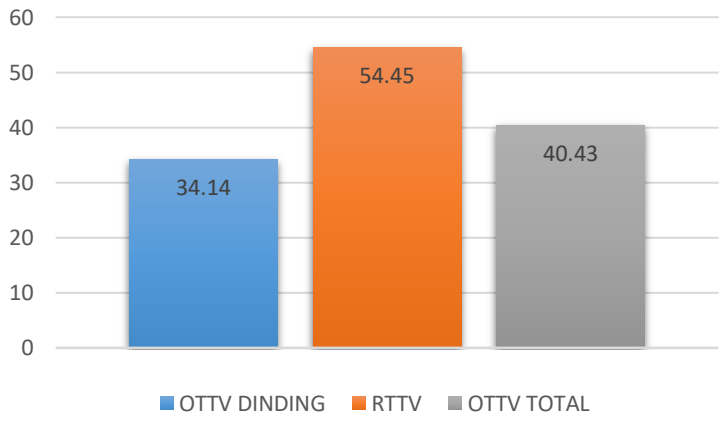
$$= \frac{75224}{1860.8} = 40{,}43\ w/m^2$$

4.4.1.9 Analisa OTTV bangunan eksisting

Berikut adalah barchart dari hasil perhitungan OTTV bangunan eksisting Rusunawa Siwalankerto dari berbagai arah mata angin ditunjukkan pada gambar 4.2. Sedangkan pada gambar 4.3 menunjukkan hasil total perhitungan OTTV dan RTTV yang berarti bangunan eksisting tersebut tidak memenuhi standar SNI 2011 yang memiliki standar 35 w/m^2. Dapat dilihat pada hasil yang diperoleh dari OTTV parsial menunjukkan bahwa nilai OTTV utara dan selatan melebihi nilai standar karena bagian sisi bangunan tersebut memiliki bidang yang lebih besar daripada sisi lainnya. Hal ini bisa menjadi pertimbangan bahwa sisi yang mempunyai nilai yang besar lebih membutuhkan redesign daripada sisi yang lainnya.



Gambar 4. 2 Grafik hasil OTTV dinding eksisting
(Sumber : Penulis, 2021)

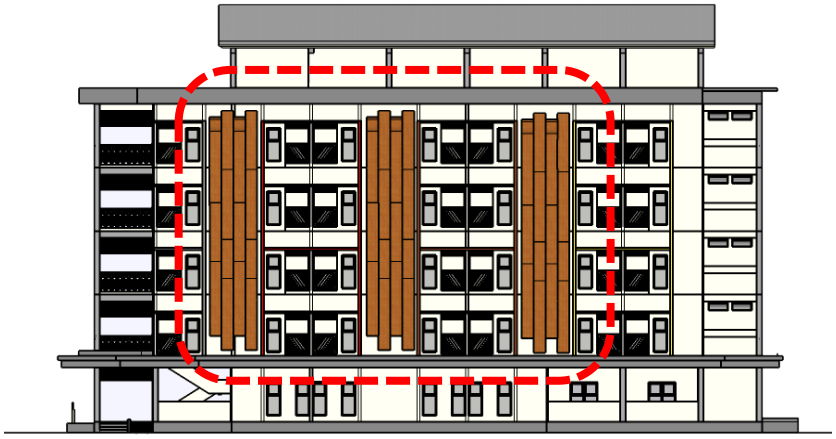


Gambar 4. 3 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV eksisting
(Sumber : Penulis, 2021)

Dari hasil yang terdapat pada perhitungan OTTV terlihat bahwa OTTV dinding memiliki nilai yang bisa dikatakan cukup memenuhi syarat SNI yang ditetapkan sebesar 35 w/m^2 meskipun nilainya berada diambang batas nilai minimum yang ditetapkan, hanya saja nilai RTTV yang besar mempengaruhi nilai total keselurahan menjadi sebesar 40,43 w/m^2. Jadi redesign yang akan dilakukan nantinya akan berfokus menurunkan nilai OTTV dinding agar nilainya menjadi lebih kecil dengan menambahkan beberapa material yang telah disulkan pada tahap analisa dan keuntungan dan kerugian. Selain itu nilai RTTV yang besar juga harus menjadi fokus perhatian dalam redesign nantinya. Proses redesign yang dilakukan pada RTTV sama dengan yang akan dilakukan pada OTTV yaitu merubah atau menambahkan material yang bisa menurunkan nilai thermal secara konsisten pada atap bangunan ataupun bisa merubah bentuk shading bangunan agar nilai thermal yang didapat oleh bangunan menjadi lebih kecil.

4.4.3 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Kayu

Proses redesign yang dilakukan pada tahapan ini yaitu menambahkan ornamen material kayu pada fasad bangunan eksisting. Kayu modern dianggap sebagai pilihan yang tepat untuk arsitektur modern yang baru serta untuk proses rekonstruksi yang sudah ada, karena kayu meningkatkan nilai estetika dan artistik objek dan menyediakan koneksi ke arsitektur regional juga. Menurut hasil yang didapatkan dari kuesioner utama kayu mendapatkan nilai 60 poin dan mendapatkan peringkat 1 dari ke empat material yang diusulkan. Hasil menunjukkan bahwa keunggulan kayu yaitu motif nya yang indah, ramah lingkungan dan material yang murah dari segala jenis aspek biaya. Contoh redesign yang telah dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 untuk pola desain yang digunakan dalam fasad bangunan

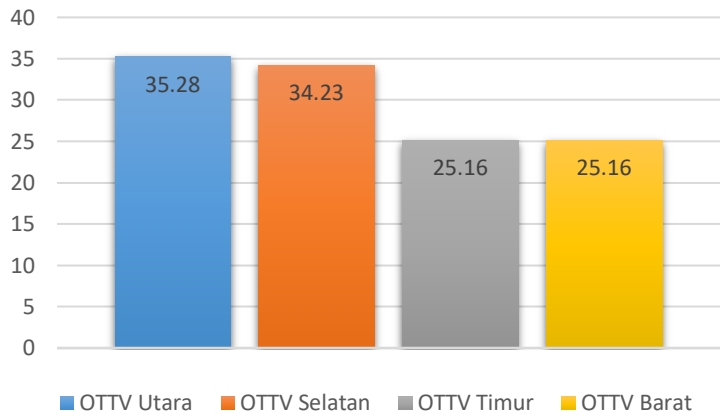


Gambar 4. 4 Tampak bangunan dengan penambahan material kayu
(Sumber : Penulis, 2021)

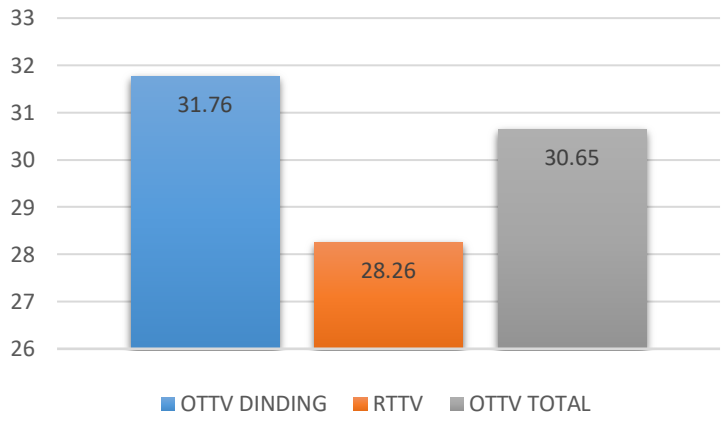
Gambar 4. 5 Pola desain material kayu yang ditambahkan pada bangunan
(Sumber : Penulis, 2021)

Redesign yang akan dilakukan yaitu menambahkan material kayu pada sisi selatan dan utara bangunan karena sesuai hasil dari perhitungan OTTV bangunan eksisting sisi bangunan sebelah selatan dan utara memiliki nilai OTTV yang tinggi. Sesuai dengan hasil OTTV yang didapat dari bangunan eksisting tidak hanya OTTV yang perlu dilakukan redesign tetapi pada atap juga untuk menurunkan nilai RTTV. Hasil OTTV yang telah dilakukan pada material kayu ditunjukkan pada gambar 4.6

serta gambar 4.7. untuk hasil akhir keseluruhan perhitungan OTTV dan RTTV. Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 6 Grafik hasil OTTV dinding material kayu
(Sumber : Penulis, 2021)



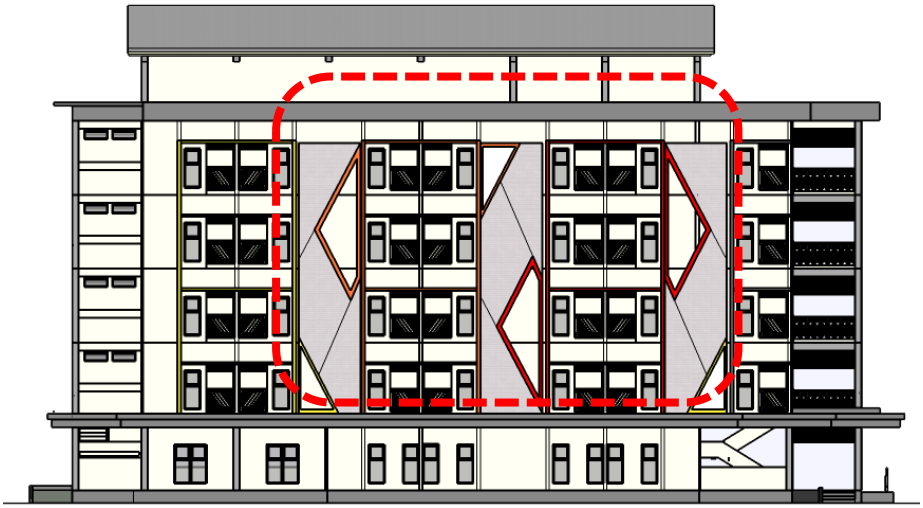
Gambar 4. 7 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material kayu
(Sumber : Penulis, 2021)

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa nilai OTTV dan RTTV bangunan setelah dilakukan redesign menggunakan material kayu mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bangunan eksisiting. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa nilai OTTV parsial yang dimiliki material kayu ternyata tidak mengalami banyak perubahan jika dibandingkan dengan OTTV parsial bangunan

eksisting. Nilai total OTTV menurun karena nilai RTTV nya sendiri telah turun secara signifikan. Selain itu kayu sendiri memiliki nilai bahan absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_w) yang termasuk tinggi yakni sebesar 0,78 dan nilai cat absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_p) default nya sebesar 0,84. Jadi semakin tinggi nilai α dari bahan yang digunakan membuat permukaan bahan material yang menyerap radiasi panas matahari semakin banyak. Tetapi hal ini bisa dicegah dengan cara mengubah nilai α_p menjadi lebih kecil dengan cara menggunakan warna cat yang lebih cerah.

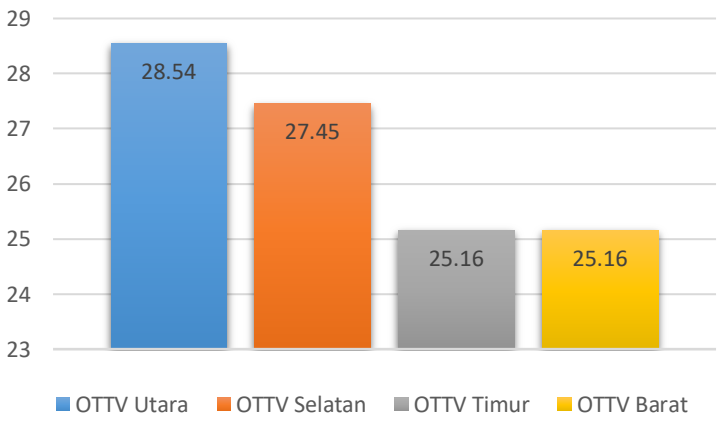
4.4.4 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Aluminium

Material selanjutnya yang diusulkan pada redesign adalah material *alumunium composite panel* (*ACP*). Proses redesign yang dilakukan pada tahapan ini sama seperti sebelumnya yaitu menambahkan ornamen material ACP pada fasad bangunan eksisting. Aluminium sendiri didalam struktur pembawa beban serta selubung bangunan telah mendapat perhatian selama beberapa dekade terakhir. Selain itu aluminium juga telah menjadi material yang paling disukai untuk sistem façade karena karakteristik yang diinginkan seperti kekuatan, ringan, kemampuan ekstrusi, dan ketahanan korosi. Menurut hasil yang didapatkan dari kuesioner utama aluminium mendapatkan nilai 51 poin dan mendapatkan peringkat 2 dari ke empat material yang diusulkan. Hasil menunjukkan bahwa keunggulan aluminium yaitu memiliki efek mengurangi panas dalam ruangan dan memiliki biaya perawatan yang relatif lebih murah dari material lainnya. Redesign yang akan dilakukan yaitu menambahkan material aluminium pada sisi selatan dan utara bangunan karena sesuai hasil dari perhitungan OTTV bangunan eksisting sisi bangunan sebelah selatan dan utara memiliki nilai OTTV yang tinggi. Contoh redesign yang telah dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.8 yang menunjukkan pola desain yang digunakan pada fasad bangunan.

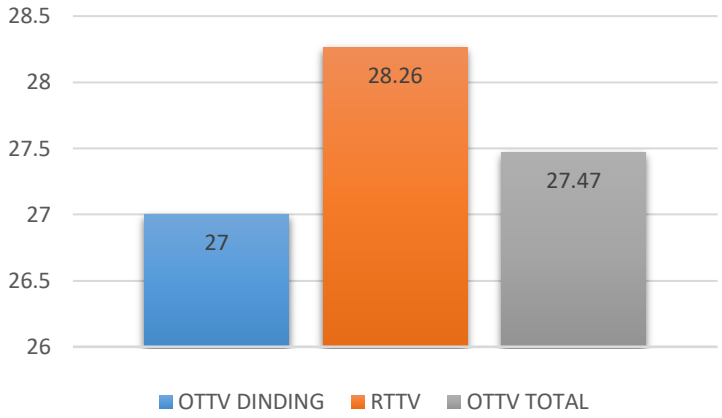


Gambar 4. 8 Tampak bangunan dengan penambahan material aluminium

Sesuai dengan hasil OTTV yang didapat dari bangunan eksisting tidak hanya OTTV yang perlu dilakukan redesign tetapi pada atap juga untuk menurunkan nilai RTTV. Hasil OTTV yang telah dilakukan dengan menggunakan material aluminium ditunjukkan pada gambar 4.9 serta gambar 4.10 untuk hasil akhir keseluruhan perhitungan OTTV dan RTTV. Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 9 Grafik hasil OTTV dinding material aluminium
(Sumber : Penulis, 2021)

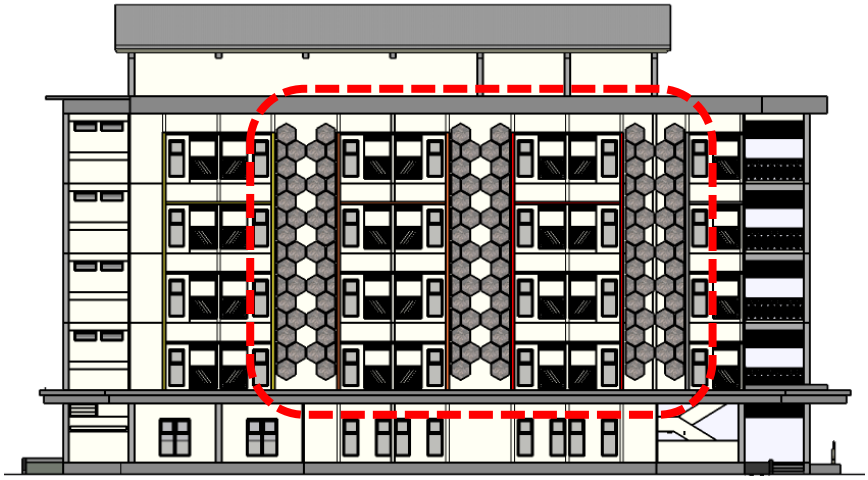


Gambar 4. 10 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material aluminium
(Sumber : Penulis, 2021)

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa nilai OTTV dan RTTV bangunan setelah dilakukan redesign menggunakan material aluminium mengalami penurunan secara signifikan jika dibandingkan dengan material kayu. sama seperti material sebelumnya penurunan nilai RTTV secara signifikan juga membawa banyak pengaruh pada total nilai secara keseluruhan. Akan tetapi nilai OTTV parsial ketika menggunakan aluminium juga mengalami banyak penurunan jika dibandingkan dengan nilai total OTTV bangunan eksisting maupun bangunan yang sudah diredesign menggunakan material kayu. Material aluminium terbukti bisa menurunkan nilai thermal bangunan jika dipasang pada fasad bangunan. Hal ini karena material aluminium memiliki nilai bahan absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_w) yang termasuk kecil jika dibandingkan dengan kayu yaitu sebesar 0,12 dan nilai cat absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_p) sebesar 0,30. Meskipun luasan material aluminium yang digunakan pada fasad bangunan eksisting tidak sebesar luasan pada kayu di tahap redesign sebelumnya, tetapi aluminium tetap menunjukkan bahwa material tersebut mampu untuk menyerap radiasi matahari pada permukaan dinding secara signifikan dan lebih baik daripada kayu pada penggunaanya di area fasad ataupun tidak sama sekali. Akan tetapi karena biaya materialnya yang relatif lebih mahal daripada kayu maka luasan area aluminium yang digunakan perlu menjadi pertimbangan sendiri.

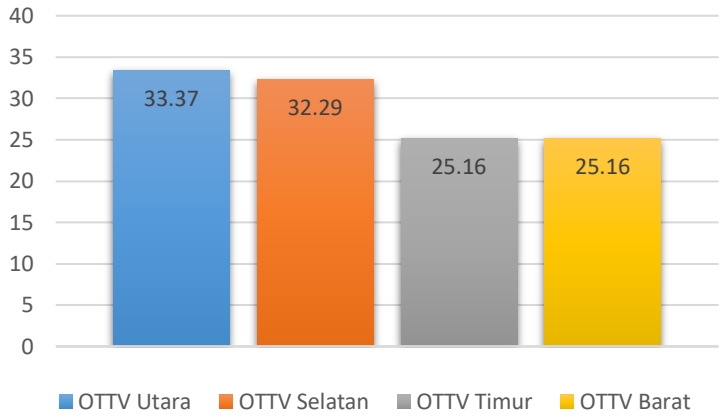
4.4.5 Analisa OTTV Bangunan Menggunakan Material Batu Alam

Material terakhir yang diusulkan pada tahap redesign adalah material batu alam. Proses redesign yang dilakukan pada tahapan ini sama seperti sebelumnya yaitu menambahkan ornamen material batu alam pada fasad bangunan eksisting. Batu alam telah banyak digunakan sebagai pelapis eksterior fasad. Salah satu fungsi karakteristik utamanya yang bertujuan sebagai estetika dengan variasi tekstur dan pola yang memberikan karakter homogen yang unik. Berbagai macam pola batu yang digunakan dapat menggambarkan dan mencerminkan preferensi gaya individu dari pemilik bangunan, arsitek atau bahkan keduanya. Menurut hasil yang didapatkan dari kuesioner utama batu alam mendapatkan nilai 48 poin dan mendapatkan peringkat 3 dari ke empat material yang diusulkan. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa keunggulan batu alam yaitu motif nya yang indah dan penggunaannya yang ramah lingkungan. Redesign yang akan dilakukan yaitu menambahkan material batu alam pada sisi selatan dan utara bangunan karena sesuai hasil dari perhitungan OTTV bangunan eksisting sisi bangunan sebelah selatan dan utara memiliki nilai OTTV yang tinggi. Contoh redesign yang telah dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.11 yang menunjukkan pola desain yang digunakan pada fasad bangunan..

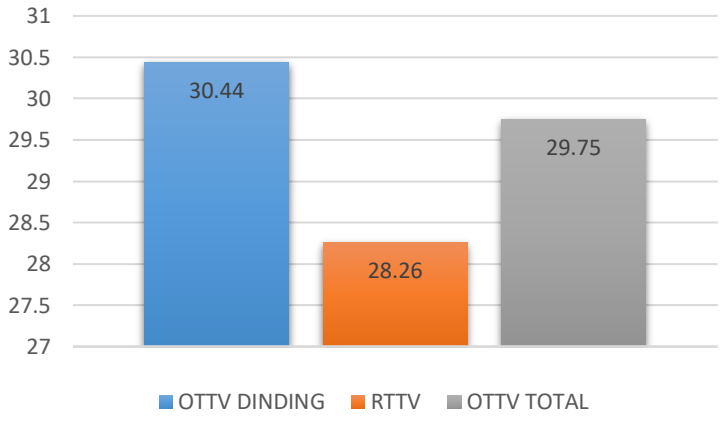


Gambar 4. 11 Tampak bangunan dengan penambahan material batu alam
(Sumber : Penulis, 2021)

Sesuai dengan hasil OTTV yang didapat dari bangunan eksisting tidak hanya OTTV yang perlu dilakukan redesign tetapi pada atap juga untuk menurunkan nilai RTTV. Hasil OTTV yang telah dilakukan dengan menggunakan material batu alam ditunjukkan pada gambar 4.12 serta gambar 4.13 untuk hasil akhir keseluruhan perhitungan OTTV dan RTTV. Untuk perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 12 Grafik hasil OTTV dinding material batu alam
(Sumber : Penulis, 2021)



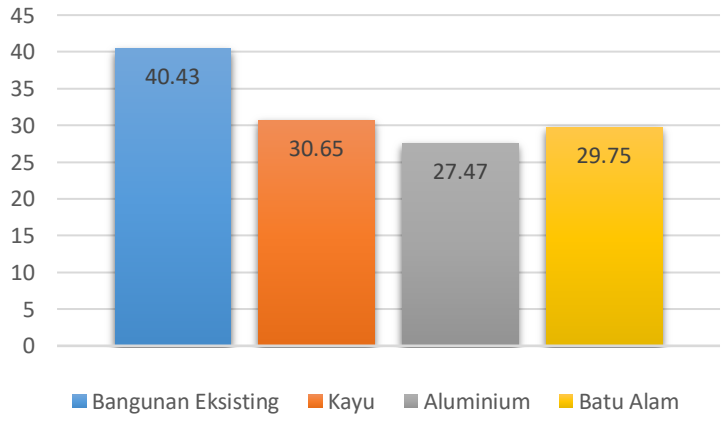
Gambar 4. 13 Grafik hasil akhir OTTV dan RTTV material batu alam
(Sumber : Penulis, 2021)

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa nilai OTTV dan RTTV bangunan setelah dilakukan redesign menggunakan material batu alam mengalami

penurunan secara signifikan jika dibandingkan dengan material kayu tetapi masih lebih tinggi daripada material ACP. Sama seperti material sebelumnya penurunan nilai RTTV secara signifikan juga membawa banyak pengaruh pada total nilai secara keseluruhan. Akan tetapi nilai OTTV parsial ketika menggunakan batu alam juga mengalami banyak penurunan jika dibandingkan dengan nilai total OTTV bangunan eksisting. Nilai bahan absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_w) yang dimiliki oleh batu alam sebenarnya sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan kayu yaitu sebesar 0,87 dan nilai cat absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai α_p) yang digunakan sebesar 0.84. Dengan penurunan nilai itu jika dibandingkan dengan bangunan eksisting batu alam juga bisa menjadi pilihan untuk digunakan sebagai ornamen fasad bangunan.

4.4.6 Hasil Akhir OTTV Seluruh Bangunan

Hasil akhir dari perhitungan nilai OTTV dari nilai bangunan eksisting, redesign bangunan dengan menggunakan material kayu, aluminium hingga batu alam ditunjukkan pada gambar 4.14. Setelah diketahui besaran nilai energi yang dikeluarkan dari masing-masing bangunan maka selanjutnya akan dilakukan analisa *life cycle cost*, nilai OTTV yang telah diketahui ini akan dignakan sebagai acuan untuk menghitung biaya opersaional dan maintenance yang dikeluarkan oleh bangunan selama siklus hidupnya.



Gambar 4. 14 Hasil akhir nilai OTTV dari perbandingan keseluruhan
(Sumber : Penulis, 2021)

4.5 Analisa *Life Cycle Cost (LCC)*

4.5.1 Komponen Biaya dalam perhitungan *LCC*

Komponen biaya yang diperlukan dalam perhitungan life cycle cost pada penelitian ini adalah Biaya Awal pembangunan gedung (Initial Cost), Biaya Operasional dan Pemeliharaan selama siklus hidup gedung (Operation and Maintenance Cost), dan Biaya Energi dan Air dalam operasional gedung (Energy and Water Cost). Data-data biaya yang didapatkan ini akan menjadi dasar dalam perhitungan *life cycle cost*.

4.5.1.1 Biaya Awal *(Initial Cost)*

Biaya Awal (Initial Cost) adalah semua biaya pekerjaan konstruksi awal pada bangunan, termasuk biaya pekerjaan bangunan yaitu biaya pekerjaan bangunan dan pekerjaan eksternal, dan biaya terkait konstruksi lainnya yaitu semua biaya dibayarkan oleh klien sehubungan dengan bangunan atau aset yang dibangun (Kaming, 2017). Pada penelitian ini Initial Cost terdiri dari biaya kontrak manajemen konstruksi, dan biaya kontrak konstruksi bangunan rusun, pagar rusun dan jalan rusun.

a. *Initial Cost* Bangunan Eksisting

Berdasarkan data yang telah didapat pada bangunan Rusunawa Siwalankerto, maka *Initial Cost* atau Biaya Awal bangunan dapat ditunjukkan pada tabel 4.27. Karena perbandingan *LCC* dilakukan hanya terbatas pada area fasad maka *Initial Cost* yang dihitung pada tabel tersebut hanya terbatas pada item pekerjaan dan biaya dari dinding eksterior bangunan atau hanya selubung bangunan saja. Perhitungan biaya setiap item pekerjaan menggunakan asumsi berdasarkan data gambar yang diberikan oleh Dinas Cipta Karya Kota Surabaya dan Analisa Harga Satuan Tahun 2018 pada saat proyek mulai dibangun.

Tabel 4. 27 *Initial Cost* Rusunawa Siwalankerto

Item Bangunan Eksisting	Volume	Harga Satuan	Jumlah

Pasangan Dinding Batu Bata	1154	Rp235.156 / m^2	Rp271.370.433
Pasangan Kolom & Balok Praktis	180	Rp43.912 / m’	Rp7.904.250
Plesteran Dinding	2308	Rp97.426 / m^2	Rp224.859.438
Acian Dinding	2308	Rp42.000 / m^2	Rp96.936.000
Pengecatan Interior	1846	Rp21.052 / m^2	Rp38.871.006
Pengecatan Eksterior	2077	Rp41.107 / m^2	Rp85.387.460
		Total	Rp725.328.589

(Sumber: Penulis, 2021)

b. *Initial Cost* Bangunan Redesign

Berdasarkan data yang telah diolah dari metode OTTV telah didapatkan luasan area yang digunakan untuk material yang akan ditambahkan kedalam fasad bangunan eksisting. Harga dan luasan yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.28. Akan tetapi harga tersebut belum termasuk harga pemasangan dan harga aksesoris pendukung ketika dilakukan pemasangan, contohnya seperti rangka hollow, sealent, skrup, besi siku, bracket, scaffolding dan upah tenaga kerja. Harga total material dan pemasangan material fasad ditunjukkan pada tabel 4.29 serta harga total penambahan keeluruhan biaya ditutnjukkan pada tabel 4.30.

Tabel 4. 28 Harga dan luasan material yang digunakan pada fasad

Material	Luasan	Biaya/m^2	Biaya Material
Kayu (Wood Wall Cladding)	140m^2	Rp 50.000	Rp 7.000.000
Aluminium (ACP)	140m^2	Rp 200.000	Rp 28.000.000
Batu Alam (Granit)	140m^2	Rp 95.000	Rp 13.300.000

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 29 Total harga pemasangan material pada fasad bangunan

Material	Biaya Material & Pemasangan (140m^2)
Kayu (Wood Wall Cladding)	Rp 42.700.000
Aluminium (ACP)	Rp 63.700.000
Batu Alam (Granit)	Rp 49.000.000

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 30 Total *Initial Cost* dengan penambahan biaya fasad bangunan

Material	Biaya
Eksisting	Rp 725.328.589
Eksisting + Kayu (Wood Wall Cladding)	Rp 768.028.589
Eksisting + Aluminium (ACP)	Rp 789.028.589
Eksisting + Batu Alam (Granit)	Rp 774.328.589

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.1.2 Biaya Perawatan *(Maintenance Cost)*

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 24/PRT/M/ 2008 tentang Pedoman Pemeliharaan dan Perawatan Bangunan Gedung, perawatan (*maintenance*) adalah kegiatan pemeliharaan atau perawatan bangunan yang bertujuan untuk mempertahankan dan menjaga kondisi bangunan beserta komponen, bahan dan peralatan di dalamnya sehingga dapat berfungsi secara maksimal sesuai dengan yang telah ditentukan. Perawatan bangunan gedung merupakan suatu langkah untuk mengganti dan/atau memperbaiki bagian dari bangunan gedung, bahan bangunan, elemen, prasarana dan sarana sehingga bangunan gedung tetap dapat berfungsi dengan baik.

Pada umumnya pengelola bangunan gedung menggunakan catatan pengeluaran tahun sebelumnya untuk menentukan besaran biaya perawatan yang akan dikeluarkan setiap tahunnya dan merinci setiap item pekerjaan yang berpotensi untuk dilakukan perawatan ataupun penggantian, akan tetapi Rusunawa Siwalankerto Tahap II ini baru saja selesai dibangun dan tidak memiliki riwayat pengeluaran biaya pemeliharaan bangunan. Jadi perhitungan biaya pemeliharaan gedung Rusunawa Siwalankerto nantinya akan dilakukan dengan menggunakan asumsi biaya setiap tahunnya berdasarkan perhitungan umum mengenai perawatan dasar dinding eksterior yang dipakai bangunan pada umumnya. Perlu diperhatikan juga bahwa asumsi biaya satuan yang disebutkan berfungsi sebagai batas tertinggi atau estimasi. Jadi nilai aktual untuk biaya pemeliharaan bangunan Rusunawa Siwalankerto bisa saja lebih tinggi atau lebih rendah tergantung kerusakan yang

terjadi di lapangan. Selain itu jumlah biaya yang dikeluarkan setiap item jenis pekerjaan disesuaikan dengan luasan fasad bangunan yang memerlukan perawatan, dalam hal ini asumsi yang digunakan yaitu dengan volume luasan fasad eksisting sebesar 1.194m^2 dan standar pemakaian cat kira-kira sebanyak 12 meter persegi/liter untuk setiap lapisan maka memerlukan sekitar kurang lebih 100 kaleng cat, sedangkan untuk desinfektan dan anti jamur bersifat water based yang tidak memerlukan jumlah yang banyak. Detail biaya dan satuan yang digunakan dalam perawatan bangunan ditunjukkan pada tabel 4.31.

Tabel 4. 31 *Maintenance cost* pada bangunan eksisting

Maintenance	Biaya	Satuan	Biaya Pekerjaan
Coating Cat Eksterior	Rp 46.000	Kaleng	Rp 4.590.000
Desinfektan	Rp. 100.000	Liter	Rp. 200.000
Anti Jamur	Rp 30.000	Kaleng	Rp 4.200.000
Upah pekerja	Rp 35.000	Ls	Rp. 4.900.000
		Total Biaya/Tahun	Rp. 13.890.000

(Sumber: Penulis)

a. *Maintenance Cost* Bangunan Dengan Redesign Kayu

Material kayu yang digunakan dalam fasad bangunan membutuhkan perawatan yang lebih banyak. Fasad kayu yang tidak rutin dirawat akan mengalami pelapukan dan keropos yang lebih cepat yang diakibatkan oleh cuaca dan juga rayap. Detail biaya pemeliharaan fasad kayu ditunjukkan pada tabel 4.32 berikut. Asumsi perhitungan untuk finishing dan coating cat kayu dilakukan setiap 6 bulan sekali sedangkan penyemperotan anti rayap dilakukan setiap setahun sekali pada bidang area material seluas 140m^2.

Tabel 4. 32 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign kayu

Maintenance	Biaya	Satuan	Biaya Pekerjaan
Coating Cat Kayu	Rp 85.000	Kaleng	Rp 4.590.000
Finishing cat	Rp 150.000	Kaleng	Rp 8.100.000
Anti Rayap	Rp 30.000	Ls	Rp 4.200.000
Upah pekerja	Rp 35.000	Ls	Rp. 4.900.000
		Total Biaya/Tahun	Rp. 21.790.000

(Sumber: Penulis, 2021)

b. *Maintenance Cost* Bangunan Dengan Redesign Aluminium

Material ACP memiliki sifat dan daya tahan yang kuat terhadap air dan berbagai macam cuaca, oleh karena itu ACP banyak digunakan untuk panel pelapis dinding dari suatu bangunan baik interior maupun eksterior. Sifat aluminium yang tahan korosi, asam, garam, dan sinar ultra violet membuat material ini lebih tahan lama. Penggantian material baru dilakukan berpuluh tahun setelah pemasangan material lama. Rentang jadwal pemeliharaan dan pembersihan tergantung pada kondisi polusi pada lingkungan tempat diaplikasikannya. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan biaya pemeliharaan ACP berdasarkan pada kegiatan perawatan untuk setahun sekali. Berbeda dengan material kayu yang membutuhkan perawatan yang lebih banyak, perawatan ACP relatif lebih sederhana yaitu hanya dengan membilas material dengan air dan deterjen untuk menghilangkan debu yang menempel. Atau bisa juga dengan pembersih khusus alumunium yang dijual di toko bahan kimia. Detail biaya pemeliharaan fasad aluminium ditunjukkan pada tabel 4.33 berikut.

Tabel 4. 33 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign aluminium

Maintenance	Biaya	Satuan	Biaya Pekerjaan
Aluminium cleaner	Rp. 60.000	Liter	Rp. 240.000
Upah pekerja	Rp. 35.000	Ls	Rp. 4.900.000
		Total Biaya/Tahun	Rp. 5.140.000

(Sumber: Penulis, 2021)

c. *Maintenance Cost* Bangunan Dengan Redesign Batu Alam

Sama seperti material ACP, batu alam juga memiliki sifat dan daya tahan terhadap berbagai macam cuaca. Akan tetapi kekurangan batu alam yaitu memiliki pori-pori yang cukup besar sehingga harus ditutup dengan bahan khusus, seperti pelapis atau sejenisnya agar terhindar dari lumut serta kotoran lainnnya. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan biaya pemeliharaan batu alam berdasarkan pada

kegiatan perawatan untuk setahun sekali. Detail biaya pemeliharaan fasad batu alam ditunjukkan pada tabel 4.34 berikut

Tabel 4. 34 *Maintenance cost* pada bangunan dengan redesign batu alam

Maintenance	Biaya	Satuan	Biaya Pekerjaan
Marble netral cleaner	Rp. 128.000	Liter	Rp. 256.000
Desinfektan	Rp. 100.000	Liter	Rp. 200.000
Upah pekerja	Rp. 35.000	Ls	Rp. 4.900.000
		Total Biaya/Tahun	Rp. 5.356.000

(Sumber: Penulis, 2021)

d. Rekapitulasi *Maintenance Cost*

Berdasarkan hasil perhitungan total *maintenance cost* pada tabel 4.35 diketahui bahwa material kayu memiliki nilai total biaya yang paling besar daripada material aluminium dan batu alam. Hal ini dikarenakan perawatan untuk kayu berbeda jika dibandingkan dengan material yang lain. Kayu memerlukan jumlah cat untuk pelapis materialnya dalam jumlah yang cukup banyak baik itu cat finishing hingga cat untuk *coating*. Berbeda dengan item material yang digunakan untuk pemeliharaan aluminium dan batu alam, aluminium cleaner dan marble cleaner adalah tipe material *water based*, artinya kedua material ini cukup dilarutkan dengan air untuk melakukan prosesnya jadi tidak dibutuhkan material pemeliharaan yang banyak. Dengan asumsi standar pemakaian cat yaitu 12m^2/liter maka dibutuhkan banyak kaleng cat untuk melakukan pengecatan pada bidang seluas 140m^2 per masing-masing jenis cat nya. Ditambah dengan penyemperotan anti rayap membuat total biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan kayu jauh lebih besar jika dibandingkan dengan material lainnya. Selain itu perbedaan yang cukup signifikan pada material kayu daripada kedua material lainnya yaitu terletak pada seringnya perawatan yang dilakukan untuk menjaga agar material tersebut tetap awet. Kayu memerlukan perawatan yang lebih sering daripada material lainnya. Contohnya seperti penggunaan lapisan cat pada permukaan kayu yang harus dilakukan setiap 6 bulan sekali.

Tabel 4. 35 *Maintenance Cost* bangunan eksisting dan bangunan redesign

Tipe Bangunan	Biaya Pemeliharaan	Total Biaya	Persentase
Eksisting	-	Rp. 13.890.000	
Redesign Kayu	Rp. 21.790.000	Rp 35.680.000	61%
Redesign Aluminium	Rp. 5.140.000	Rp 19.030.000	27%
Redesign batu Alam	Rp. 5.356.000	Rp 19.246.000	28%

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.1.3 Biaya Energi *(Energy Cost)*

Biaya Energi pada bangunan Rusunawa Siwalankerto adalah biaya penggunaan energi listrik yang dibayarkan melalui APBD kepada penyedia layanan energi, dalam hal ini adalah PT. PLN Persero. Biaya energi didapatkan dari data OTTV yaitu energi thermal yang dihasilkan oleh bangunan yang telah direkapitulasi pada metode OTTV. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan biaya energi yaitu hanya dihitung berdasarkan luasan area fasilitas umum pada setiap lantai seperti ruang pengelola, musholla, ruang serbaguna dan selasar. Diketahui total luasan area fasilitas umum yaitu sebesar 943m^2 dan tarif listrik yang digunakan mengacu pada Golongan R-1/ TR daya 1.300 VA, Rp 1.444,70 per kWh. Besaran biaya energi thermal dan total biaya yang dihasilkan bangunan ditunjukkan pada tabel 4.36. Terlihat bahwa semua redesign yang dilakukan telah menghemat biaya energi per tahunnya. Material aluminium memiliki nilai total biaya yang paling rendah karena memiliki nilai OTTV yang paling rendah diantara ke 3 material yang diusulkan.

Tabel 4. 36 *Energy Cost* bangunan eksisting dan bangunan redesign

Tipe Bangunan	Nilai OTTV *watt/m^2*	Konsumsi Energi *kWh/bulan*	Biaya Energi *Rp/bulan*	Biaya Energi *Rp/tahun*
Eksisting	40.43	38.13	Rp1.752.640	Rp21.031.686
Redesign Kayu	30.65	28.90	Rp1.328.677	Rp15.944.130
Redesign Aluminium	27.47	25.90	Rp1.190.824	Rp14.289.894
Redesign batu Alam	29.75	28.05	Rp1.289.662	Rp15.475.950

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.1.4 Biaya Penggantian *(Replacement Cost)*

Penggantian termasuk bagian dari proses pemeliharaan gedung, namun perbedaannya terletak pada besarnya kegiatan yang dilakukan. Pada pemeliharaan dilakukan perbaikan pada sebagian dari komponen yang rusak akibat pemakaian saja, sedangkan pada penggantian dilakukan penggantian pada keseluruhan dari salah satu atau lebih komponen gedung dikarenakan kerusakan pada komponen tersebut sudah terlalu banyak yang disebabkan usia komponennya sudah lewat. Penggantian masing-masing komponen terjadi pada waktu tertentu. Usia komponen gedung dapat menjadi patokan kapan harus dilakukannya penggantian. Selain itu bukan hanya material utama yang perlu diganti, komponen material pendukung seperti bracket, besi siku, sealent, dll juga harus ikut diganti. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan biaya penggantian sama dengan biaya pemasangan material fasad bangunan ditambah dengan biaya pembongkaran. Pada umumnya biaya pembongkaran berkisar antara Rp. 100.000 hingga Rp. 200.000. Jadi akan diambil nilai tengah berdasarkan harga tersebut yaitu sebesar Rp. 150.000/m^2. Masing-masing material memiliki usia komponen yang berbeda. Untuk asumsi yang digunakan berdasarkan penggunaan usia komponen masing-masing material pada umumnya jika didasarkan pada penetapan perhitungan umur siklus bangunan sebesar 25 tahun, material kayu memiliki usia komponen selama 7 tahun yang berarti akan dilakukan penggantian sebanyak 3 kali, material aluminium memiliki usia komponen yang paling lama dibandingkan material lainnya yaitu bisa bertahan selama 15 tahun yang berarti akan dilakukan penggantian sebanyak 1 kali dan untuk material batu alam memiliki usia komponen selama 10 tahun yang berarti akan dilakukan penggantian sebanyak 2 kali. Besaran biaya *replacement cost* sepanjang penetapan siklus bangunan selama 25 tahun ditunjukkan pada tabel 4.37.

Tabel 4. 37 *Replacement Cost* bangunan redesain

Material	*Replacement Cost* (140m^2)
Kayu (Wood Wall Cladding)	Rp 191.100.000
Aluminium (ACP)	Rp 84.700.000
Batu Alam (Granit)	Rp 140.000.000

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.2 Perhitungan *Life Cycle Cost*

Analisis Life Cycle Cost menggunakan pendekatan ekivalensi metode nilai sekarang (Present Worth Method) dengan menggunakan data biaya yang telah dikumpulkan sebelumnya dengan memperhitungkan:

1. Discount rate (i): 4.23%, diperhitungkan dari rata-rata angka inflasi di Indonesia dalam 10 tahun terakhir periode tahun 2011 – 2020.
2. Periode analisis (n): 25 tahun,
3. Present time/tahun ke-0: tahun 2019 (Pada saat selesainya pembangunan gedung Rusun Siwalankerto)
4. Tahun ke-1: tahun 2020.

Biaya-biaya awal yang terjadi sebelum tahun operasional gedung dalam komponen biaya *Initial Cost* tidak terpengaruh oleh *time value of money* karena masuk dalam tahun ke-0 di awal siklus. *Maintenance Cost* dan *Energy Cost* diperhitungkan menggunakan rata-rata biaya dalam satu tahun atau nilai annual (A). Nilai A diperhitungkan tetap sepanjang siklus. Perhitungan nilai sekarang dari biaya-biaya tersebut menggunakan rumus nilai sekarang seri pembayaran sama dengan discount rate (i) ditetapkan sebesar 4.23% dan periode siklus (n) adalah 20.

Life Cycle Cost gedung didapatkan dari penjumlahan keseluruhan biaya yang terdapat dalam siklus hidup bangunan tersebut, dengan mengikuti perhitungan nilai sekarang (present worth). Analisis life cycle cost dilakukan pada bangunan eksisting dan bangunan yang telah di redesign untuk kemudian dilakukan analisis perbandingan dengan menormalisasi nilai yang didapatkan dalam analisis ini dengan luas bangunan masing-masing gedung dalam biaya per m^2.

4.5.2.1 Analisis *Life Cycle Cost* Bangunan Eksisting

Berdasarkan data *Initial Cost* pada tabel 4.30, data *Maintenance Cost* pada tabel 4.35, data *Energy Cost* pada tabel 4.36 serta data *Replacement Cost* pada tabel

4.37 dapat dihitung Life Cycle Cost bangunan eksisting. Perhitungan life cycle cost ditunjukkan pada tabel 4.38 berikut ini.

Tabel 4. 38 Perhitungan LCC bangunan eksisting

Life Cycle Cost Bangunan Eksisting			
Discount rate (i)	4.23%		
Life Cycle (years)	25		
Present time	2019		
Cost Category	Cost *Rp.*	PW Factor	Present Worth *Rp.*
Initial Cost			725.328.589
Maintenance Cost	13.890.000	2.8172	39.130.976
Energy Cost	21.031.686	2.8172	59.250.465
Replacement Cost			
		Total Life Cycle Cost	823.710.032

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.2.2 Analisis *Life Cycle Cost* Bangunan Dengan Redesign Kayu

Berdasarkan data *Initial Cost* pada tabel 4.30, data *Maintenance Cost* pada tabel 4.35, data *Energy Cost* pada tabel 4.36 serta data *Replacement Cost* pada tabel 4.37 dapat dihitung Life Cycle Cost bangunan eksisting. Perhitungan life cycle cost ditunjukkan pada tabel 4.39 berikut ini.

Tabel 4. 39 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign kayu

Life Cycle Cost Bangunan dengan Redesign Kayu			
Discount rate (i)	4.23%		
Life Cycle (years)	50		
Present time	2019		
Cost Category	Cost *Rp.*	PW Factor	Present Worth *Rp.*
Initial Cost			768.028.589
Maintenance Cost	35.680.000	2.8172	100.517.873
Energy Cost	15.944.130	2.8172	44.917.882
Replacement Cost	63.700.000	2.3870	152.050.175

Total Life Cycle Cost	1.065.514.520

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.2.3 Analisis *Life Cycle Cost* Bangunan Dengan Redesign Aluminium

Berdasarkan data *Initial Cost* pada tabel 4.30, data *Maintenance Cost* pada tabel 4.35, data *Energy Cost* pada tabel 4.36 serta data *Replacement Cost* pada tabel 4.37 dapat dihitung Life Cycle Cost bangunan eksisting. Perhitungan life cycle cost ditunjukkan pada tabel 4.40 berikut ini.

Tabel 4. 40 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign aluminium

Life Cycle Cost Bangunan dengan Redesign Aluminium			
Discount rate (i)	4.23%		
Life Cycle (years)	50		
Present time	2019		
Cost Category	Cost *Rp.*	PW Factor	Present Worth *Rp.*
Initial Cost			789.028.589
Maintenance Cost	19.030.000	2.8172	53.611.410
Energy Cost	14.289.894	2.8172	40.257.560
Replacement Cost	84.700.000	1.8616	157.679.225
		Total Life Cycle Cost	1.040.576.785

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.2.4 Analisis *Life Cycle Cost* Bangunan Dengan Redesign Batu Alam

Berdasarkan data *Initial Cost* pada tabel 4.30, data *Maintenance Cost* pada tabel 4.35, data *Energy Cost* pada tabel 4.36 serta data *Replacement Cost* pada tabel 4.37 dapat dihitung Life Cycle Cost bangunan eksisting. Perhitungan life cycle cost ditunjukkan pada tabel 4.41 berikut ini.

Tabel 4. 41 Perhitungan LCC bangunan dengan redesign batu alam

Life Cycle Cost Bangunan dengan Redesign Batu Alam	
Discount rate (i)	4.23%

Life Cycle (years)	50		
Present time	2019		
Cost Category	Cost *Rp.*	PW Factor	Present Worth *Rp.*
Initial Cost			774.328.589
Maintenance Cost	19.246.000	2.8172	54.219.927
Energy Cost	15.475.950	2.8172	43.598.923
Replacement Cost	70.000.000	2.2901	160.307.114
		Total Life Cycle Cost	1.032.454.553

(Sumber: Penulis, 2021)

4.5.3 Perbandingan *LCC* Bangunan Eksisting Dengan Bangunan Redesign

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.38, tabel 4.39, tabel 4.40 dan tabel 4.41 di atas dapat dibuat perhitungan total dari bangunan eksisting terhadap bangunan redesign dalam satu siklus hidup bangunan tersebut selama periode 20 tahun pada akhir siklus hidup ditunjukkan pada tabel 4.42.

Tabel 4. 42 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign

Cost Category	Life Cycle Cost			
	Eksisting	Kayu	Aluminium	Batu Alam
Initial Cost	725.328.589	768.028.589	789.028.589	774.328.589
Maintenance Cost	39.130.977	100.517.873	53.611.410	54.219.927
Energy Cost	59.250.466	44.917.882	40.257.560	43.598.923
Replacement Cost		152.050.175	157.679.225	160.307.114
Total Cost	823.710.032	1.065.514.520	1.040.576.785	1.032.454.553

(Sumber: Penulis, 2021)

Setelah semua biaya life cycle cost bangunan eksisting dan bangunan redesign didapatkan, selanjutnya nilai yang telah dihitung tersebut dinormalisasi ke dalam m^2 sesuai luasan bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.42 dibuat sebuah perhitungan pada tabel 4.43 untuk menunjukkan perbandingan life

cycle cost bangunan eksisting dan bangunan redesign kayu, tabel 4.44 untuk menunjukkan perbandingan life cycle cost bangunan eksisting dan bangunan redesign aluminium dan tabel 4.45 untuk menunjukkan perbandingan life cycle cost bangunan eksisting dan bangunan redesign batu alam untuk mengetahui dampak biaya dari penerapan material sustainability dalam bangunan Rusunawa Siwalankerto dalam satuan Rupiah per meter persegi.

Tabel 4. 43 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign kayu dalam m2

Cost Category	LCC/m^2		Cost Impact
	Kayu (Rp/m^2)	Eksisting (Rp/m^2)	
Initial Cost	274.296	259.046	5.56%
Maintenance Cost	35.899	13.975	61.07%
Energy Cost	16.042	21.161	-31.91%
Replacement Cost	54.304	0	100.00%
Total Cost	380.541	294.182	22.69%

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 44 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign aluminium dalam m2

Cost Category	LCC/m^2		Cost Impact
	Aluminium (Rp/m^2)	Eksisting (Rp/m^2)	
Initial Cost	281.796	259.046	8.07%
Maintenance Cost	19.147	13.975	27.01%
Energy Cost	14.378	21.161	-47.18%
Replacement Cost	56.314	0	100.00%
Total Cost	371.635	294.182	20.84%

(Sumber: Penulis, 2021)

Tabel 4. 45 Perbandingan LCC bangunan eksisting dan bangunan redesign batu alam dalam m2

Cost Category	LCC/m^2	Cost Impact

	Batu Alam (Rp/m^2)	Eksisting (Rp/m^2)	
Initial Cost	276.546	259.046	6.33%
Maintenance Cost	19.364	13.975	27.83%
Energy Cost	15.571	21.161	-35.90%
Replacement Cost	57.253	0	100.00%
Total Cost	368.734	294.182	20.22%

(Sumber: Penulis, 2021)

Perhitungan Initial Cost dan Maintenance Cost dalam satuan biaya per meter persegi pada bangunan redesign menunjukkan angka lebih tinggi jika dibandingkan dengan biaya bangunan eksisting. Pada material kayu menunjukkan peningkatan sebesar 5.56% untuk Initial Cost dan 61.07% untuk Maintenance Cost. Sedangkan pada material aluminium juga menunjukkan angka yang lebih tinggi Initial Cost dan Maintenance Cost sebesar 8.07% dan 27.01% untuk masing-masingnya. Untuk material terakhir yaitu batu alam menunjukkan peningkatan sebesar 6.33% dan 27.83%. Dalam konsep green building sendiri pun pembangunan dan investasi awal untuk penerapan teknologi dan implementasi desainnya secara umum memang cenderung lebih mahal dibandingkan dengan conventional building. Dalam kasus ini penambahan material dengan luasan yang sesuai digunakan untuk menurunkan nilai thermal bangunan. Harga dari masing-masing material yang disulkan juga bervariasi jadi hal ini berpengaruh terhadap perubahan yang terjadi pada variabel biaya Initial Cost dan Maintenance Cost. Biaya yang dibutuhkan juga bergantung kepada masing-masing luasan yang dibutuhkan dalam metode OTTV. Biaya awal yang dibutuhkan dalam konsep green building memang lebih besar akan tetapi hal ini akan sejalan dengan biaya energi yang dihasilkan dari bangunan semakin kecil.

Perhitungan Energy Cost yang dihasilkan oleh bangunan redesign menunjukkan angka penghematan yang cukup besar dari semua material yang diuji, untuk material kayu menghasilkan penghematan senilai 31.91% lebih rendah jika dibandingkan dengan bangunan eksisting. Sedangkan untuk material aluminium menghasilkan nilai 47.18% lebih rendah dan untuk material terakhir yaitu batu alam

menghasilkan nilai 35.90% lebih rendah jika dibandingkan dengan bangunan eksisting. Dapat dilihat bahwa material aluminium memiliki nilai penghematan paling tinggi daripada material lainnya, hal ini dikarenakan nilai OTTV untuk material aluminium menunjukkan nilai 27.47w/m^2 dan menjadi material dengan nilai OTTV terendah. Bisa disimpulkan semakin rendah nilai OTTV suatu bangunan maka semakin banyak juga biaya energi yang bisa dihemat dari suatu bangunan selama siklus hidupnya. Dengan desain yang tepat dan material yang tepat penghematan untuk pengeluaran energi bangunan sangat mungkin untuk bisa dilakukan dan dikendalikan. Pada awalnya memang biaya awal yang dihasilkan menjadi lebih besar akan tetapi dengan penghematan biaya pengeluaran energi yang bisa dilakukan, tingginya biaya awal bisa tertutupi. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam periode siklus penggunaan energi bangunan yang telah di redesign lebih efisien jika dibandingkan dengan bangunan eksisting sehingga dapat memberikan nilai biaya penghematan yang signifikan selama umur siklus bangunan. Secara total hasil perbandingan life cycle cost bangunan redesign dengan material kayu menunjukkan hasil cost impact sebesar 22.69% terhadap bangunan eksisting, 20.84% untuk material aluminium dan batu alam sebesar 20.22%.

Sejalan dengan hasil yang didapat, hasil ini sesuai dengan penemuan EECCH (2012) yang menyatakan bahwa desain yang ramah lingkungan dapat mengurangi konsumsi energi ventilasi dan pendinginan hingga 30% pada bangunan. Selain itu pada penelitian sebelumnya Cheng *et al* (2014) tentang fasad bangunan, menyebutkan bahwa fasad bangunan sendiri memiliki peran yang cukup besar dalam penurunan konsumsi energi pada bangunan, karena fasad bangunan dapat mempengaruhi konsumsi energi sekitar 20-60%. Hasil yang didapat pada penelitian ini terkait efisiensi energi yang dihasilkan oleh perubahan fasad bangunan menunjukkan rentang 31.91% hingga 47.18% lebih baik daripada bangunan eksisting. Dengan desain dan material fasad yang tepat penghematan untuk pengeluaran energi bangunan sangat mungkin untuk bisa dilakukan dan dikendalikan.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai Analisis Perbandingan Usulan Green Material Pada Bangunan Rumah Susun Berdasarkan Life Cycle Cost, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan untuk mendapatkan kriteria sustainability yang sesuai dengan wilayah iklim tropis Indonesia, didapatkan kriteria yang relevan menurut survei pendahuluan. Dari 25 kriteria yang telah disulkan berdasarkan literature review, hanya 18 kriteria saja yang relevan dan sesuai dengan kondisi rumah susun di Indonesia. Kriteria tersebut diantara lain yaitu yang pertama dari Faktor Sosial terdiri dari kriteria Keindahan. Faktor Lingkungan terdiri dari kriteria Rendah atau tidak beracun sama sekali; Kesesuaian dengan lingkungan setempat; Kesesuaian dengan iklim setempat; Mengurangi polusi lingkungan; Mengurangi panas dalam ruangan; Mengurangi polusi suara; Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca; Penanganan limbah sisa; Potensi daur ulang; dan Menghemat sumber daya alam. Faktor yang terakhir yaitu Faktor Ekonomi terdiri dari kriteria Biaya konstruksi; Biaya pembelian; Biaya implementasi; Biaya siklus hidup; Biaya perawatan; dan Memenuhi kebutuhan pengguna.

2. Berdasarkan analisa pada tahapan OTTV diketahui besaran nilai energi yang dikeluarkan dari masing-masing bangunan. Pada perhitungan akhir, diketahui bahwa bangunan eksisting memiliki total nilai sebesar 40.43w/m^2, nilai tersebut tidak memnuhi syarat SNI sebesar 35w/m^2, oleh sebab itu redesign pada bangunan eksisting diperlukan. Hasil menunjukkan bahwa semua material yang disulkan pada tahapan redesign memiliki total nilai OTTV jauh dibawah bangunan eksisting dan dibawah batas minimal 35w/m^2. Untuk nilainya sendiri material kayu memiliki nilai total OTTV sebesar 30.65w/m^2, material aluminium sebesar 27.47w/m^2, dan material batu alam sebesar 29.

75w/m^2. Dapat diketahui bahwa material aluminium meiliki total nilai OTTV terkecil diantara material lainnya. Material aluminium terbukti bisa menurunkan nilai thermal bangunan jika dipasang pada fasad bangunan. Hal ini karena material aluminium memiliki nilai bahan absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai αw) yang termasuk kecil jika dibandingkan dengan kayu yaitu sebesar 0,12 dan nilai cat absorpsi radiasi matahari permukaan dinding luar (nilai αp) sebesar 0,30.

3. Berdasarkan rekapitulasi biaya yang didapatkan dan hasil perhitungan life cycle cost dengan menggunakan Present Worth Method, present time/tahun ke-0 = 2019, discount rate (i) = 4.23%, life cycle period (n) = 25 tahun, adalah sebagai berikut: Total life cycle cost bangunan eksisting sebesar Rp. 823.710.032. Total life cycle cost bangunan redesign dengan menggunakan kayu sebesar Rp 1.065.514.520. Total life cycle cost bangunan redesign dengan menggunakan aluminium sebesar Rp 1.040.576.785. Total life cycle cost bangunan redesign dengan menggunakan batu alam sebesar Rp. 1.032.454.553.

4. Berdasarkan hasil analisa metode OTTV dan LCC, material aluminium memiliki nilai penghematan paling tinggi daripada material lainnya, hal ini dikarenakan nilai OTTV untuk material aluminium menunjukkan nilai 27.47w/m2 dan menjadi material dengan nilai OTTV terendah. Aluminium menghemat biaya energi sepanjang siklus hidup bangunan sebesar 47.18%. Nilai ini lebih tinggi daripada material lainnya yang diusulkan. Selain itu tidak hanya menghemat biaya energi, material aluminium juga mendapatkan nilai maintenance cost terkecil dengan impact cost sebesar 3.34%. Dengan hasil yang ditunjukkan pada impact cost tersebut membuat material aluminium menjadi material terbaik yang akan digunakan pada bangunan Rusunawa Siwalankerto.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam kegiatan redesign yang dilakukan pada tahapan OTTV, penambahan material fasad hanya diberikan untuk sisi bangunan yang memiliki nilai OTTV parsial tertinggi. Selain itu untuk menghemat biaya keseluruhan maka luasan material yang digunakan pada fasad bangunan eksisting masih terbilang cukup kecil. Semakin banyak luasan area material yang digunakan, maka semakin kecil pula nilai OTTV yang dihasilkan. Jadi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan dari segi aspek biaya dan penggunaan luasan area yang digunakan untuk fasad bangunan agar bisa mendapatkan hasil yang paling optimal.
2. Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis perhitungan energi thermal yang dihasilkan bangunan melalui metode OTTV dan perhitungan LCC untuk mendapatkan material terbaik dalam penggunaanya pada rumah susun bagi masyarakat berpenghasilan rendah. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dapat dilakukan studi untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna dan kenyamanan pengguna, sehingga dapat memberikan analisa yang lebih luas dalam metode pemilihan material bangunan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Akbari, M., Gunalan, S., Gilbert, B. P., & Baleshan, B. (2020). Experimental investigation on the bearing behaviour of aluminium. *Thin-Walled Structures*.

Alwisy, A., BuHamdan, S., & M. Gül. (2019). Evidence-based ranking of green building design factors according to leading energy modelling tools. *Sustain. Cities Soc. 47*.

Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. *Sustainable Materials and Technologies*.

Bria, F. T. (2015). Tingkat Kenyamanan Hunian Berdasarkan Kondisi Fisik Rumah Susun Kuto Bedah.

Carlini, M., Castellucci, S., Ceccarelli, I., Rotondo, M., & Mennuni, A. (2020). Study of a thermal dispersion in buildings and advantages of ceramic. *Energy Reports*.

Castro-Lacouture, D., Sefair, J., Flórez, L., & A.L. Medaglia. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. *Build. Environ. 44 (6)*, 1162–1170.

Chua, K., & Chou, S. (2011). A performance-based method for energy efficiency improvement of buildings. *Energy Conversion and Management*.

El-Diraby, T., Krijnen, T., & Papagelis, M. (2017). BIM-based collaborative design and sociotechnical analytics of green buildings. *Autom. Constr. 82*, 59–74.

EN, B. 15978: 2011 (2011)"Sustainability of Construction works-Assessment of environmental performance of buildings-Calculation method".

Esteve-Sendra, et al. (2012). Bamboo, from traditional crafts to contemporary design and architecture. *Social and Behavioral Sciences*.

Firsani, T., & Utomo, C. (2012). Analisa Life Cycle Cost pada Green Building Diamond Building Malaysia. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1*, D-34.

Florez, L., Castro, D., & Irizarry, J. (2013). Measuring sustainability perceptions of construction materials. *Constr Innov: Inf Process Manag*, 13(2):217–34.

Fowler, K., & Rauch, E. (2006). Sustainable Building Rating Systems Summary. *U.S. Department of Energy*.

Govindan, K., Shankar, K. M., & Kannan, D. (2015). Sustainable material selection for construction industry – A hybrid multi criteria decision making approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Ivanovi´cˇ-Sekularac, J., JasnaˇCiki´c-Tovarovi´c, & Nenadˇ Sekularac. (2015). Application of wood as an element off façade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency. *Energy and Buildings*.

Javad, K., & G. Navid. (2019). Thermal comfort investigation of stratified indoor environment in displacement ventilation: climate-adaptive building with smart windows. *Sustain. Cities Soc. 46* .

Kamagi, G. P. (2013). Analisis Life Cycle Cost Pada Pembangunan Gedung (Studi Kasus : Proyek Bangunan Rukan Bahu Mall Manado). *Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.8*, 549.

Khoshnava, S. M., Rostami, R., Valipour, A., Ismail, M., & Rahmat, A. R. (2016). Rank Of Green Building Material Criteria Based On The Three Pillars Of Sustainability Using The Hybrid Multi Criteria Decision Making Method. *Journal of Cleaner Production*.

Kibert, C. (1994). *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa: University of Florida*, 6-9.

Kim, J.-L., Greene, M., & Kim, S. (2014). Cost Comparative Analysis of a New Green Building Code for Residential Project Development. *Journal of Construction Engineering and Management*.

Köhler, M. (2008). Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosyst. 11 (4)*, 423.

Marie, I. (2013). Perception of darkening of stone facades and the need for cleaning. *International Journal of Sustainable Built Environment*.

Nugroho, D. A. (2020). Analisis Perbandingan Life Cycle Cost pada Green Building dan Conventional Building.

Satria, R. A. (2018). Evaluasi Performa Desain Selubung Bangunan Rumah Tinggal Tinjauan Arsitektur Berkelanjutan dengan Upaya Konservasi Energi melalui Perhitungan OTTV pada Selubung Bangunan Rumah Tinggal Universitas Islam Indonesia (UII).

Shi, Q., Zuo, J., & Zillante, G. (2012). Exploring the management of sustainable construction at the programme level: a Chinese case study. *Construction Management and Economics. 30 (6)*, 425–440.

Sitepu, H. (2011). Model Pengembangan Rusunawa Ramah Lingkungan Melalui Optimasi Pelaksanaan Green Construction Di Batam.

Stritih, U., Tyagi, V., Stropnik, R., Paksoy, H., Haghighat, F., & Joybari, M. (2018). Integration of passive PCM technologies for net-zero energy buildings. *Sustain. Cities Soc. 41*, 286–295.

Susilo, E. (2018). Analisis Life Cycle Cost Pada Bangunan Rumah Susun Sederhana Sewa Di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Syahriyah, D. R. (2016). Penerapan Aspek Green Material pada Kriteria Bangunan Ramah Lingkungan di Indonesia. *TEMU ILMIAH IPLBI 2016*, 179-186.

Tam, V. W., Senaratne, S., Le, K. N., Shen, L.-Y., Chethana, I., & Illankoon, S. (2017). Life-cycle cost analysis of green-building implementation using timber applications. *Journal of Cleaner Production*.

Tian, G., Zhang, H., Feng, Y., Wang, D., & Jia, H. (2018). Green decoration materials selection under interior environment characteristics: A grey-

correlation based hybrid MCDM method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Todd JA, C. D. (2001). Comparative assessment of environmental performance tools and the role of the green building challenge. *Build Res Inf* 29(5):324–35.

Weerasinghe, A. S., & Ramachandra, T. (2018). Economic sustainability of green buildings: a comparative analysis of green vs non-green. *Built Environment Project and Asset Management*.

Weerasinghe, A. S., Ramachandra, T., & Rotimi, J. O. (2021). Comparative life-cycle cost (LCC) study of green and traditional industrial buildings in Sri Lanka. *Energy & Buildings*.

LAMPIRAN 1

Konsep Instrumen Pengumpulan Data
(Survei Pendahuluan)

1. Identitas Responden

Pada bagian pertama kuesioner ini, penulis ingin mengetahui identitas reponden yang berperan dalam pengisian kuesioner. Data tersebut akan sangat diperlukan oleh penulis jika ada pertanyaan lebih lanjut mengenai relevan atau tidaknya variabel *sustainability* dalam proses pemilihan *green material*. Bagian ini akan mempertanyakan mengenai:

a. Email responden
b. Nama responden
c. Nomor telepon responden
d. Jenis kelamin responden

2. Latar Belakang Responden

Pada bagian kedua kuesioner ini, penulis ingin mengetahui latar belakang responden yang berperan dalam pengisian kuesioner.

a. Asal instansi (Developer / Konsultan / Konstraktor / Sub Kontraktor)
b. Lama keterlibatan responden dalam perusahaan (< 5 tahun / 5-10 tahun / > 10 tahun)
c. Pendidikan terakhir (Di bawah S1 / S1 / S2 / S3)

3. Petunjuk Pengisian Kuesioner

Kuisioner terdiri dari 22 pernyataan yang berkaitan dengan variabel pemilihan green material. Pada kolom tingkat relevansi terdapat pilihan Relevan dan Tidak Relevan. Responden diminta memberikan tanda centang (√) pada kolom Relevan apabila kriteria relevan untuk digunakan dalam pemilihan green material sebaliknya berikan tanda centang (√) pada kolom Tidak Relevan apabila kriteria tidak relevan untuk digunakan dalam pemilihan green material.

4. Pengisian Kuesioner

Pada bagian keempat kuesioner ini, penulis ingin mengajukan pertanyaan mengenai kriteria-kriteria *sustainability* yang berkaitan dengan green material. Responden diminta untuk mengisi pada kolom yang telah disediakan sesuai petunjuk pengisian kuesioner.

NO	KRITERIA GREEN MATERIAL		TINGKAT RELEVANSI	
	Variabel	**Sub-variabel**	**Relevan**	**Tidak Relevan**
1	Faktor Sosial	Keindahan		
2		Kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat		
3		Kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat		
4		Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan		
5		Mempertimbangkan nilai sejarah		
6	Faktor Lingkungan	Rendah atau tidak beracun sama sekali		
7		Kesesuaian dengan lingkungan setempat		
8		Kesesuaian dengan iklim setempat		
9		Mengurangi polusi lingkungan		
10		Mengurangi panas dalam ruangan		
11		Mengurangi polusi suara		

12		Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca		
13		Penanganan limbah sisa		
14		Potensi daur ulang		
15		Menghemat sumber daya alam		
16	Faktor Ekonomi	Menurunkan biaya konstruksi		
17		Menurunkan biaya pembelian		
18		Menurunkan biaya implementasi		
19		Menurunkan biaya siklus hidup		
20		Menurunkan biaya perawatan		
21		Memenuhi kebutuhan pengguna		
22		Kontribusi terhadap pajak		

5. Komentar dan Saran

Pada bagian kelima kuesioner ini, responden diberikan kesempatan untuk memberi tambahan item yang berhubungan dengan variabel dan sub-variabel yang diajukan penulis. Hal tersebut bersifat optional. Responden juga dipersilahkan untuk memberikan komentar dan saran terkait variabel *sustainability* terkait pemilihan *green material*.

LAMPIRAN 2

Konsep Instrumen Pengumpulan Data
(Survei Utama)

1. Identitas Responden

Pada bagian pertama kuesioner ini, penulis ingin mengetahui identitas reponden yang berperan dalam pengisian kuesioner. Data tersebut akan sangat diperlukan oleh penulis jika ada pertanyaan lebih lanjut mengenai relevan atau tidaknya variabel *sustainability* dalam proses pemilihan *green material*. Bagian ini akan mempertanyakan mengenai:

e. Email responden
f. Nama responden
g. Nomor telepon responden
h. Jenis kelamin responden

2. Latar Belakang Responden

Pada bagian kedua kuesioner ini, penulis ingin mengetahui latar belakang responden yang berperan dalam pengisian kuesioner.

d. Asal instansi (Developer / Konsultan / Konstraktor / Sub Kontraktor)
e. Lama keterlibatan responden dalam perusahaan (< 5 tahun / 5-10 tahun / > 10 tahun)
f. Pendidikan terakhir (Di bawah S1 / S1 / S2 / S3)

3. Petunjuk Pengisian Kuesioner

Kuisioner terdiri dari 22 pernyataan yang berkaitan dengan variabel pemilihan green material. Responden diminta memberikan bobot penilaian terhadap material yang telah diusulkan berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengetahui keuntungan dan kerugian masing-masing alternatif material. Parameter yang akan digunakan pada pengisian kuesioner akan ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

a. Parameter Faktor Sosial

Faktor Sosial	Parameter	Nilai
Keindahan	Sangat indah	4
	Indah	3
	Jelek	2
	Sangat jelek	1
Kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat	Sangat sesuai	4
	cukup sesuai	3
	tidak sesuai	2
	sangat tidak sesuai	1
Kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat	Sangat sesuai	4
	cukup sesuai	3
	tidak sesuai	2
	sangat tidak sesuai	1
Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan	Sangat meningkatkan	4
	cukup meningkatkan	3
	tidak meningkatkan	2
	sangat tidak meningkatkan	1
Mempertimbangkan nilai sejarah	Sangat mempertimbangkan	4
	cukup mempertimbangkan	3
	tidak mempertimbangkan	2
	sangat tidak mempertimbangkan	1

b. Parameter Faktor Lingkungan

Faktor Lingkungan	Parameter	Nilai
Rendah atau tidak beracun sama sekali	Tidak beracun	4
	rendah/cukup beracun	3
	beracun	2
	sangat beracun	1
Kesesuaian dengan lingkungan setempat	Sangat sesuai	4
	cukup sesuai	3
	tidak sesuai	2
	sangat tidak sesuai	1
Kesesuaian dengan iklim setempat	Sangat sesuai	4
	cukup sesuai	3
	tidak sesuai	2
	sangat tidak sesuai	1
Mengurangi polusi lingkungan	Sangat mengurangi polusi	4
	cukup mengurangi polusi	3
	mencemari lingkungan	2
	sangat mencemari lingkungan	1
Mengurangi panas dalam ruangan	Sangat mengurangi panas	4
	cukup mengurangi panas	3
	menambah panas	2
	sangat menambah panas	1
Mengurangi polusi suara	Sangat mengurangi polusi	4
	cukup mengurangi polusi	3
	menambah polusi suara	2
	sangat menambah polusi suara	1
Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca	Sangat mengurangi panas	4
	cukup mengurangi panas	3
	menambah panas	2
	sangat menambah panas	1

Penanganan limbah sisa	Sangat mudah	4
	mudah	3
	sulit	2
	sangat sulit	1
Potensi daur ulang	Sangat mudah	4
	mudah	3
	sulit	2
	sangat sulit	1
Menghemat sumber daya alam	Sangat menghemat	4
	cukup menghemat	3
	tidak menghemat	2
	sangat tidak menghemat	1

c. Parameter Faktor Ekonomi

Faktor Lingkungan	**Parameter**	**Nilai**
Biaya konstruksi	Sangat murah	4
	murah	3
	mahal	2
	sangat mahal	1
Biaya pembelian	Sangat murah	4
	murah	3
	mahal	2
	sangat mahal	1
Biaya implementasi	Sangat murah	4
	murah	3
	mahal	2
	sangat mahal	1

Biaya siklus hidup	Sangat murah	4
	murah	3
	mahal	2
	sangat mahal	1
Biaya perawatan	Sangat murah	4
	murah	3
	mahal	2
	sangat mahal	1
Memenuhi kebutuhan pengguna	Sangat memenuhi	4
	cukup memenuhi	3
	tidak memenuhi	2
	sangat tidak memenuhi	1
Kontribusi terhadap pajak	Sangat berkontribusi	4
	Cukup berkontribusi	3
	Tidak berkontribusi	2
	Sangat tidak berkontribusi	1

4. Pengisian Kuesioner

Pada bagian keempat kuesioner ini, penulis ingin mengajukan pertanyaan mengenai pemilihan green material sesuai dengan prinsip sustainability. Responden diminta untuk mengisi pada kolom yang telah disediakan sesuai petunjuk pengisian kuesioner.

NO	KRITERIA GREEN MATERIAL		MATERIAL			
	Variabel	**Sub-variabel**	**Kayu**	**Batu Alam**	**ACP**	**Keramik**
1	Faktor Sosial	Keindahan				
2		Kesesuaian dengan konsep arsitektur masyarakat setempat				
3		Kesesuaian dengan budaya masyarakat setempat				
4		Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang konsep keberlanjutan				
5		Mempertimbangkan nilai sejarah				
6	Faktor Lingkungan	Rendah atau tidak beracun sama sekali				
7		Kesesuaian dengan lingkungan setempat				
8		Kesesuaian dengan iklim setempat				
9		Mengurangi polusi lingkungan				
10		Mengurangi panas dalam ruangan				
11		Mengurangi polusi suara				
12		Mengurangi panas perkotaan dan gas rumah kaca				
13		Penanganan limbah sisa				
14		Potensi daur ulang				

15		Menghemat sumber daya alam				
16	Faktor Ekonomi	Menurunkan biaya konstruksi				
17		Menurunkan biaya pembelian				
18		Menurunkan biaya implementasi				
19		Menurunkan biaya siklus hidup				
20		Menurunkan biaya perawatan				
21		Memenuhi kebutuhan pengguna				
22		Kontribusi terhadap pajak				

5. Komentar dan Saran

Pada bagian kelima kuesioner ini, responden diberikan kesempatan untuk memberi tambahan item yang berhubungan dengan variabel dan sub-variabel yang diajukan penulis. Hal tersebut bersifat optional. Responden juga dipersilahkan untuk memberikan komentar dan saran terkait variabel *sustainability* terkait pemilihan *green material*.

LAMPIRAN 3

Detail Perhitungan OTTV Material Kayu

1. <u>Perhitungan Windows to Wall Ratio (WWR)</u>

a. Sisi utara
- Material
  - Jendela kaca : 42,8 m^2
  - Batako : 315,7 m^2
  - Kayu : 70 m^2
- Total dinding : 385,65 m^2
- Total fasad : 428,49 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{42.8}{428,9} = 0,1$

b. Sisi selatan
- Material
  - Jendela kaca : 47,6 m^2
  - Batako : 309,8 m^2
  - Kayu : 70 m^2
- Total dinding : 400 m^2
- Total fasad : 448 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{47.6}{448} = 0,1114$

c. Sisi timur
- Material
  - Batako : 191 m^2
- Total dinding : 191 m^2
- Total fasad : 191 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{191} = 0$

d. Sisi barat
- Material
  - Batako : 197 m^2
- Total dinding : 197 m^2
- Total fasad : 197 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{197} = 0$

e. Luas atap : 575,81 m^2

2 <u>Nilai Transmitan Bahan</u>

a. Kaca

Terdiri atas susunan material Kaca Bening dengan ketebalan 6 mm.

- SC Kaca : 0,47
- U Kaca : 54.1 W/m degC

b. Dinding ACP

Tabel Kombinasi material ACP

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.016666667
Batako	7	1.21	0.83	0.05785124
Udara	10	0.625	1.60	0.16
Kayu	0.4	0.21	4.76190	0.019047619

$$U\ ACP = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Udara + R.Kayu + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}16 + 0.019047619 + 0{,}044}$$

$= 2.395$ W/m2 degC

c. Dinding batako

Tabel Kombinasi material batako

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.017
Batako	7	1.21	0.83	0.058

$$U\ Batako = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Plester + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}000018182 + 0{,}044}$$

$= 3.92$ W/m2 degC

d. Atap dak beton

Tabel Kombinasi material dak beton

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	2	0.9	1.11	0.022
Beton	10	1.44	0.69	0.069

$$U\ Beton = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Beton + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0.022 + 0{,}069 + 0{,}044}$$

$= 3.91$ W/m2 degC

3 <u>Beda Temperatur Ekuivalen</u>

Untuk mencari nilai perbedaan temperatur ekuivalen (Δteq), maka perlu diketahui berat bahan setiap material setelah itu dilihat apakah masuk kategori ringan, sedang atau berat. Nilai berat setiap jenis material dapat dilihat pada tabel 4.22 dan nilai TDek pada tabel 4.23.

Tabel Berat jenis material

Bahan	Berat Jenis (kg/m3)	Tebal (m)	berat (kg/m2)
Kaca	2579	0.006	15,47
Kayu	1000	0.004	4
Batako	1250	0.07	87,5
Plester	1568	0.015	23,52
Beton	2400	0.1	240

Tabel Nilai TDek

Jenis Konstruksi	Berat (kg/m2)	TDEk
Dinding - Ringan	< 125	15
Dinding - Sedang	125 - 195	12
Dinding - Berat	> 195	10

Atap - Ringan	< 50	24
Atap - Sedang	50 - 230	20
Atap - Berat	> 230	16

Tabel Nilai TDek terhadap berat jenis material

Kombinasi bahan	kg/m2	TDEk
a. Kaca = kaca	15.47	15
b. Kayu = plester + batako + Kayu	115.02	15
c. Batako = plester + batako + plester	134.54	12
d Beton = Beton + plester	263.52	16

4 Absorbtansi Radiasi Matahari (Nilai α)

Tabel Nilai α terhadap setiap jenis material

Bahan	α dinding	α cat	Rata-rata
ACP	0.12	0.88	0.5
Kayu	0.78	0.47	0.625
Batako	0.86	0.3	0.58
Beton	0.86	0.88	0.87

5 Faktor Radiasi Matahari (Solar Factor)

Tabel Nilai solar factor (SF)

Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	Atap
SNI 03-6389-2000	130	113	112	97	97	176	243	211	428

6. Perhitungan OTTV Parsial

a. OTTV Utara = $\alpha\ Kayu\ x\ [U\ Kayu\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Kayu\ x\ \%Kayu +$
$a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$
$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ SF\ Utara) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}6\ x\ [2{,}39\ x\ (0.900021004)]\ x\ 15\ x\ 0.2218 +$

$0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.900021004)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0.09998\ x\ 130) + (4.1\ x\ 0.09998\ x\ 5)$

$= 4.4812 + 22.64 + 6.10 + 2.05 = 35.28\ w/m^2$

b. OTTV Selatan = $\alpha\ Kayu\ x\ [U\ Kayu\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Kayu\ x\ \%Kayu$

$+ a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ SF\ Selatan) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}6\ x\ [2{,}39\ x\ (0.88861588)]\ x\ 15\ x\ 0{,}0226\ +$

$0.535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.888615889)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0.47\ x\ 0.111384111\ x\ 97) + (4.1\ x\ 0.111384111\ x\ 5)$

$= 4.51 + 23{,}36 + 5{,}078 + 2{,}283$

$= 34{,}23\ w/m^2$

c. OTTV Timur

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ SF\ Timur) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

d. OTTV Barat

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ SF\ Barat) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

e. Total OTTV Dinding Parsial

$$\frac{(\Sigma\, dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara) + (\Sigma\, dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan) + (\Sigma\, dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\, dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat)}{\Sigma\, dinding\ utara + \Sigma\, dinding\ selatan + \Sigma\, dinding\ timur + \Sigma\, dinding\ barat}$$

$$= \frac{(428{,}49x35{,}28) + (427{,}35x34{,}22) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158)}{428{,}49 + 427{,}35 + 190{,}98 + 196{,}78}$$

$$= \frac{39500{,}04}{1243{,}6} = 31{,}763\ w/m^2$$

7 Perhitungan RTTV

$$\text{RTTV} = \frac{\Sigma\, atap\ x\ U\ beton\ x\ TDek\ x\ a\ beton}{\Sigma\, atap}$$

$$= \frac{575{,}81 \text{ x } 2{,}03 \text{ x } 16 \text{ x } 0{,}87}{575{,}81} = 28{,}25\ w/m^2$$

8 Perhitungan OTTV Keseluruhan

$$\frac{(\Sigma\, dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara) + (\Sigma\, dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan) + (\Sigma\, dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\, dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat) + (\Sigma\, atap\ x\ RTTV)}{\Sigma\, dinding\ utara + \Sigma\, dinding\ selatan + \Sigma\, dinding\ timur + \Sigma\, dinding\ barat + \Sigma\, atap}$$

$$= \frac{(428{,}49x35{,}28) + (427{,}35x34{,}23) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158) + (575{,}81x28{,}255)}{428{,}49 + 427{,}35 + 190{,}98 + 196{,}78 + 575{,}81}$$

$$= \frac{55769}{1819{,}4} = 30{,}65\ w/m^2$$

LAMPIRAN 4

Detail Perhitungan OTTV Material Aluminium

1. <u>Perhitungan Windows to Wall Ratio (WWR)</u>

a. Sisi utara
- Material
  - Jendela kaca : 42,8 m^2
  - Batako : 316,7 m^2
  - Aluminium : 69 m^2
- Total dinding : 385,65 m^2
- Total fasad : 428,49 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{42.8}{428,9} = 0,1$

b. Sisi selatan
- Material
  - Jendela kaca : 47,6 m^2
  - Batako : 310,75 m^2
  - Aluminium : 69 m^2
- Total dinding : 379,75 m^2
- Total fasad : 427,35 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{47.6}{448} = 0,1114$

c. Sisi timur
- Material
  - Batako : 191 m^2
- Total dinding : 191 m^2
- Total fasad : 191 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{191} = 0$

d. Sisi barat
- Material
  - Batako : 197 m^2
- Total dinding : 197 m^2
- Total fasad : 197 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{197} = 0$

e. Luas atap : 575,81 m^2

2. <u>Nilai Transmitan Bahan</u>

a. Kaca

Terdiri atas susunan material Kaca Bening dengan ketebalan 6 mm.

- SC Kaca : 0,47
- U Kaca : 54.1 W/m degC

b. Dinding ACP

Tabel Kombinasi material ACP

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.016666667
Batako	7	1.21	0.83	0.05785124
Udara	10	0.625	1.60	0.16
ACP	0.4	220	0.00455	0.000018182

$$U\ ACP = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Udara + R.ACP + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}16 + 0.000018182 + 0{,}044}$$

$= 2.509183057$ W/m2 degC

c. Dinding batako

Tabel Kombinasi material batako

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.017
Batako	7	1.21	0.83	0.058

$$U\ Batako = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Plester + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}000018182 + 0{,}044}$$

$= 3.92$ W/m2 degC

d. Atap dak beton

Tabel Kombinasi material dak beton

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	2	0.9	1.11	0.022
Beton	10	1.44	0.69	0.069

$$U\ Beton = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Beton + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0.022 + 0{,}069 + 0{,}044}$$

$= 3.91$ W/m2 degC

3. <u>Beda Temperatur Ekuivalen</u>

Untuk mencari nilai perbedaan temperatur ekuivalen (Δteq), maka perlu diketahui berat bahan setiap material setelah itu dilihat apakah masuk kategori ringan, sedang atau berat. Nilai berat setiap jenis material dapat dilihat pada tabel 4.22 dan nilai TDek pada tabel 4.23.

Tabel Berat jenis material

Bahan	Berat Jenis (kg/m3)	Tebal (m)	berat (kg/m2)
Kaca	2579	0.006	15,47
ACP	2672	0.004	10.688
Batako	1250	0.07	87,5
Plester	1568	0.015	23,52
Beton	2400	0.1	240

Tabel Nilai TDek

Jenis Konstruksi	Berat (kg/m2)	TDEk
Dinding - Ringan	< 125	15
Dinding - Sedang	125 - 195	12
Dinding - Berat	> 195	10

Atap - Ringan	< 50	24
Atap - Sedang	50 - 230	20
Atap - Berat	> 230	16

Tabel Nilai TDek terhadap berat jenis material

Kombinasi bahan	kg/m2	TDEk
a. Kaca = kaca	15.47	15
b. ACP = plester + batako + ACP	121.708	15
c. Batako = plester + batako + plester	134.54	12
d Beton = Beton + plester	263.52	16

4. Absorbtansi Radiasi Matahari (Nilai α)

Tabel Nilai α terhadap setiap jenis material

Bahan	α dinding	α cat	Rata-rata
ACP	0.12	0.47	0.295
Kayu	0.78	0.47	0.625
Batako	0.86	0.3	0.58
Beton	0.86	0.88	0.87

5. Faktor Radiasi Matahari (Solar Factor)

Tabel Nilai solar factor (SF)

Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	Atap
SNI 03-6389-2000	130	113	112	97	97	176	243	211	428

6. Perhitungan OTTV Parsial

a. OTTV Utara = $\alpha\ ACP\ x\ [U\ ACP\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ ACP\ x\ \%ACP +$ $a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$ $(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ SF\ Utara) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}295\ x\ [2{,}509\ x\ (0.900021004)]\ x\ 15\ x\ 0.178918709 +$

$0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.900021004)]\ x\ 12\ x\ 0.821081291\ +$

$(0{,}47\ x\ 0.09998\ x\ 130) + (4.1\ x\ 0.09998\ x\ 5)$

$= 1.7879 + 18{,}59 + 6.10 + 2.05 = 28{,}538\ w/m^2$

b. OTTV Selatan = $\alpha\ ACP\ x\ [U\ ACP\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ ACP\ x\ \%ACP$

$+ a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ SF\ Selatan) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}295\ x\ [2{,}509\ x\ (0.88861588)]\ x\ 15\ x\ 0.181698486\ +$

$0.535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.888615889)]\ x\ 12\ x\ 0.818301514\ +$

$(0.47\ x\ 0.111384111\ x\ 97) + (4.1\ x\ 0.111384111\ x\ 5)$

$= 1{,}79 + 18{,}29 + 5{,}078 + 2{,}283$

$= 27{,}45\ w/m^2$

c. OTTV Timur

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ SF\ Timur) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

d. OTTV Barat

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ SF\ Barat) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

e. Total OTTV Dinding Parsial

$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara)\ +(\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan)\ + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur)\ +(\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat)}{\Sigma\ dinding\ utara +\ \Sigma\ dinding\ selatan +\ \Sigma\ dinding\ timur +\ \Sigma\ dinding\ barat}$$

$$= \frac{(428{,}49x28{,}53) + (427{,}35x27{,}44) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158)}{428{,}49 +\ 427{,}35\ +\ 190{,}98\ +\ 196{,}78}$$

$$= \frac{33713{,}52}{1243{,}6} = 27{,}11\ w/m^2$$

7. <u>Perhitungan RTTV</u>

$$\text{RTTV} = \frac{\Sigma\ atap\ x\ U\ beton\ x\ TDek\ x\ a\ beton}{\Sigma\ atap}$$

$$= \frac{575{,}81 \text{ x } 2{,}03 \text{ x } 16 \text{ x } 0{,}87}{575{,}81} = 28{,}25\ w/m^2$$

8. <u>Perhitungan OTTV Keseluruhan</u>

$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara)\ +(\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan)\ + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat) + (\Sigma\ atap\ x\ RTTV)}{\Sigma\ dinding\ utara +\ \Sigma\ dinding\ selatan +\ \Sigma\ dinding\ timur + \Sigma\ dinding\ barat +\ \Sigma\ atap}$$

$$= \frac{(428{,}49x28{,}53) + (427{,}35x27{,}44) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158) + (575{,}81x28{,}255)}{428{,}49\ +\ 427{,}35\ +\ 190{,}98\ +\ 196{,}78\ +\ 575{,}81}$$

$$= \frac{49982.92611}{1819.41} = 27{,}47\ w/m^2$$

LAMPIRAN 5

Detail Perhitungan OTTV Material Batu Alam

1. <u>Perhitungan Windows to Wall Ratio (WWR)</u>

a. Sisi utara
- Material
  - Jendela kaca : 42,8 m^2
  - Batako : 316,7 m^2
  - Granit : 69,54 m^2
- Total dinding : 385,65 m^2
- Total fasad : 428,49 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{42.8}{428,9} = 0,1$

b. Sisi selatan
- Material
  - Jendela kaca : 47,6 m^2
  - Batako : 310,75 m^2
  - Granit : 69,54 m^2
- Total dinding : 379,75 m^2
- Total fasad : 427,35 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{47.6}{448} = 0,1114$

c. Sisi timur
- Material
  - Batako : 191 m^2
- Total dinding : 191 m^2
- Total fasad : 191 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{191} = 0$

d. Sisi barat
- Material
  - Batako : 197 m^2
- Total dinding : 197 m^2
- Total fasad : 197 m^2
- WWR : $\frac{Luas\ jendela}{Total\ fasad} = \frac{0}{197} = 0$

e. Luas atap : 575,81 m^2

2. <u>Nilai Transmitan Bahan</u>

a. Kaca

Terdiri atas susunan material Kaca Bening dengan ketebalan 6 mm.

- SC Kaca : 0,47
- U Kaca : 54.1 W/m degC

b. Dinding Granit

Tabel Kombinasi material ACP

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.016666667
Batako	7	1.21	0.83	0.05785124
Udara	10	0.625	1.60	0.16
Granit	2	2,92	0.34247	0.006849315

$$U\ ACP = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Udara + R.Granit + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}16 + 0.006849315 + 0{,}044}$$

$= 3.816300278$ W/m2 degC

c. Dinding batako

Tabel Kombinasi material batako

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	1.5	0.9	1.11	0.017
Batako	7	1.21	0.83	0.058

$$U\ Batako = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Batako + R.Plester + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0{,}017 + 0{,}058 + 0{,}000018182 + 0{,}044}$$

$= 3.92$ W/m2 degC

d. Atap dak beton

Tabel Kombinasi material dak beton

Bahan	Tebal (cm)	Nilai K (W/m.K)	Nilai R (m.K/W)	Nilai R' (m2.K/W)
Plester	2	0.9	1.11	0.022
Beton	10	1.44	0.69	0.069

$$U\ Beton = \frac{1}{R.fi + R.Plester + R.Beton + R.fo}$$

$$= \frac{1}{0{,}12 + 0.022 + 0{,}069 + 0{,}044}$$

$= 3.91$ W/m2 degC

3. <u>Beda Temperatur Ekuivalen</u>

Untuk mencari nilai perbedaan temperatur ekuivalen (Δteq), maka perlu diketahui berat bahan setiap material setelah itu dilihat apakah masuk kategori ringan, sedang atau berat. Nilai berat setiap jenis material dapat dilihat pada tabel 4.22 dan nilai TDek pada tabel 4.23.

Tabel Berat jenis material

Bahan	Berat Jenis (kg/m3)	Tebal (m)	berat (kg/m2)
Kaca	2579	0.006	15,47
Granit	2640	0.02	52.8
Batako	1250	0.07	87,5
Plester	1568	0.015	23,52
Beton	2400	0.1	240

Tabel Nilai TDek

Jenis Konstruksi	Berat (kg/m2)	TDEk
Dinding - Ringan	< 125	15
Dinding - Sedang	125 - 195	12
Dinding - Berat	> 195	10

Atap - Ringan	< 50	24
Atap - Sedang	50 - 230	20
Atap - Berat	> 230	16

Tabel Nilai TDek terhadap berat jenis material

Kombinasi bahan				kg/m2	TDEk
a.	Kaca	=	kaca	15.47	15
b.	Granit	=	plester + batako + ACP	121.708	15
c.	Batako	=	plester + batako + plester + Granit	187.34	12
d	Beton	=	Beton + plester	263.52	16

4. Absorbtansi Radiasi Matahari (Nilai α)

Tabel Nilai α terhadap setiap jenis material

Bahan	α dinding	α cat	Rata-rata
Granit	0.87	0.84	0.855
Kayu	0.78	0.47	0.625
Batako	0.86	0.3	0.58
Beton	0.86	0.88	0.87

5. Faktor Radiasi Matahari (Solar Factor)

Tabel Nilai solar factor (SF)

Orientasi	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	Atap
SNI 03-6389-2000	130	113	112	97	97	176	243	211	428

6. Perhitungan OTTV Parsial

a. OTTV Utara = $\alpha\ granitx[U\ granitx(1 - WWR)]xTDek\ granitx\%granit + a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako + (SC\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ SF\ Utara) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Utara\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}855\ x\ [3{,}816\ x\ (0.900021004)]\ x\ 12\ x\ 0.180318942 +$

$0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.900021004)]\ x\ 12\ x\ 0.821081291\ +$

$(0{,}47\ x\ 0.09998\ x\ 130) + (4.1\ x\ 0.09998\ x\ 5)$

$= 6{,}354 + 18{,}56 + 6.10 + 2.05 = 33{,}073\ w/m^2$

b. OTTV Selatan = $\alpha\ granitx[U\ granitx(1 - WWR)]xTDek\ granitx\%granit$

$+ a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ SF\ Selatan) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Selatan\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}855\ x\ [3{,}816\ x\ (0.88861588)]\ x\ 12\ x\ 0.183120474\ +$

$0.535\ x\ [3{,}92\ x\ (0.888615889)]\ x\ 12\ x\ 0.816879526\ +$

$(0.47\ x\ 0.111384111\ x\ 97) + (4.1\ x\ 0.111384111\ x\ 5)$

$= 6{,}37 + 18{,}26 + 5{,}078 + 2{,}283$

$= 31{,}99\ w/m^2$

c. OTTV Timur

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ SF\ Timur) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Timur\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

d. OTTV Barat

$= a\ Batako\ x\ [U\ Batako\ x\ (1 - WWR)]\ x\ TDek\ Batako\ x\ \%Batako +$

$(SC\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ SF\ Barat) + (U\ Kaca\ x\ WWR\ Barat\ x\ \Delta T)$

$= 0{,}535\ x\ [3{,}92\ x\ (1)]\ x\ 12\ x\ 1\ +$

$(0{,}47\ x\ 0\ x\ 112) + (4.1\ x\ 0\ x\ 5)$

$= 25{,}16 + 0 + 0$

$= 25{,}16\ w/m^2$

e. Total OTTV Dinding Parsial

$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara)\ +(\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan)\ + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur)\ +(\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat)}{\Sigma\ dinding\ utara +\ \Sigma\ dinding\ selatan +\ \Sigma\ dinding\ timur +\ \Sigma\ dinding\ barat}$$

$$= \frac{(428{,}49x33{,}07) + (427{,}35x31{,}99) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158)}{428{,}49 +\ 427{,}35\ +\ 190{,}98\ +\ 196{,}78}$$

$$= \frac{37599{,}83}{1243{,}6} = 30{,}235\ w/m^2$$

7. <u>Perhitungan RTTV</u>

$$\text{RTTV} = \frac{\Sigma\ atap\ x\ U\ beton\ x\ TDek\ x\ a\ beton}{\Sigma\ atap}$$

$$= \frac{575{,}81 \text{ x } 2{,}03 \text{ x } 16 \text{ x } 0{,}87}{575{,}81} = 28{,}25\ w/m^2$$

8. <u>Perhitungan OTTV Keseluruhan</u>

$$\frac{(\Sigma\ dinding\ utara\ x\ OTTV\ utara)\ +(\Sigma\ dinding\ selatan\ x\ OTTV\ selatan)\ + (\Sigma\ dinding\ timur\ x\ OTTV\ timur) + (\Sigma\ dinding\ barat\ x\ OTTV\ barat) + (\Sigma\ atap\ x\ RTTV)}{\Sigma\ dinding\ utara +\ \Sigma\ dinding\ selatan +\ \Sigma\ dinding\ timur + \Sigma\ dinding\ barat +\ \Sigma\ atap}$$

$$= \frac{(428{,}49x33{,}07) + (427{,}35x31{,}99) + (190{,}98x25{,}158) + (196{,}78x25{,}158) + (575{,}81x28{,}255)}{428{,}49\ +\ 427{,}35\ +\ 190{,}98\ +\ 196{,}78\ +\ 575{,}81}$$

$$= \frac{53869}{1819.41} = 29{,}608\ w/m^2$$

BIOGRAFI PENULIS

Laras Hijrahisworo

Penulis dilahirkan pada tanggal 07 Juni 1995 di Jombang, Jawa Timur, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Pajagalan 1 Sumenep (2001 - 2007), SMP Negeri 1 Sumenep (2007 - 2010), SMA Negeri 2 Sumenep (2010 - 2013), dan mengambil pendidikan terakhir Sarjana di Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (2013-2017).

Penulis memulai karir pada bidang konstruksi pada salah satu perusahaan konstruksi BUMN di Indonesia sebagai staff engineering selama kurang lebih 1,5 tahun, setelah itu memutuskan untuk mengundurkan diri guna mengikuti Program Magister Manajemen Proyek Konstruksi, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2019. Saat ini penulis bekerja sebagai PNS di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2022 dan ditempatkan pada Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, sebagai Pengelola Pengadaan Barang/Jasa.

Tesis ini sendiri merupakan bentuk pengaplikasian ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahaan. Tesis ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih terhadap ilmu pengetahuan bidang Manajemen Proyek Konstruksi terutama pada bangunan gedung untuk masyarakat umum. Penulis sangat berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan Penulis, dapat melalui email laras.hijrahisworo@gmail.com