



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Analisa perpindahan panas melalui selubung bangunan menggunakan aplikasi coolpack

Luh Putu Ike Midiani^{1*}, I Wayan Adi Subagia², I Kadek Dwiana³ dan I Putu Merta Adnyana³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

²Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

³Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364

*Email: putuikemidiani@pnb.ac.id

Abstrak

Dalam sebuah bangunan, kenyamanan termal penghuni, efisiensi energi, dan pembangunan berkelanjutan merupakan syarat yang harus terpenuhi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengontrol perpindahan panas dan mengelola aliran panas dalam hunian tersebut. Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Oleh karena itu, parameter termodinamika selubung bangunan merupakan informasi penting untuk simulasi energi bangunan dan meningkatkan efisiensi energi bangunan yang ada. Penelitian ini menganalisis kinerja termal dinding bangunan dan konsumsi energi bangunan dengan menggunakan aplikasi coolpack. Pengetahuan tentang konduktivitas termal bahan, temperatur lingkungan, dan pemilihan ketebalan dinding menjadi dasar untuk merancang selubung bangunan yang benar. Desain selubung yang baik atau pemasangan insulasi termal yang baik dan benar akan menjamin kinerja termal yang baik, mengurangi polusi dan biaya energi yang rendah yang dibutuhkan untuk memanaskan dan mendinginkan bangunan. Aplikasi coolpack mengevaluasi distribusi temperatur di dinding dan menghitung ketahanan termal lapisan, koefisien perpindahan panas keseluruhan dan laju aliran panas.

Kata kunci: perpindahan panas, selubung bangunan, coolpack

Abstract: *In a building, thermal comfort of occupants, energy efficiency, and sustainable development are requirements that must be met. This can be done by controlling heat transfer and managing heat flow in the dwelling. Building envelopes with good thermal performance can reduce energy consumption used for heating and cooling and increase the energy efficiency of buildings. Therefore, the thermodynamic parameters of the building envelope are important information for simulating building energy and improving the energy efficiency of existing buildings. This study analyzes the thermal performance of building walls and building energy consumption using the coolpack application. Knowledge of the material's thermal conductivity, ambient temperature, and selection of wall thickness forms the basis for designing the correct building envelope. A good enclosure design or proper installation of thermal insulation will ensure good thermal performance, reduced pollution and low energy costs required to heat and cool buildings. The coolpack app evaluates the temperature distribution on the wall and calculates the thermal resistance of the coating, overall heat transfer coefficient and heat flow rate.*

Keywords: *heat transfer, building envelope, coolpack*

Penerbit © P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Dalam sebuah bangunan, kenyamanan termal penghuni, efisiensi energi, dan pembangunan berkelanjutan merupakan syarat yang harus terpenuhi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengontrol perpindahan panas dan mengelola aliran panas dalam hunian tersebut. Dengan mengontrol dan mengelola aliran panas akan mengurangi konsumsi energi, menghemat sumber daya, dan mengurangi polusi dan emisi CO₂ ke lingkungan [1, 2].

Konsumsi energi untuk pemanasan dan pendinginan ruang mewakili sekitar 60% dari seluruh konsumsi energi di gedung-gedung, dan itulah sebabnya, penghematan energi untuk pemanasan dan pendinginan ruang dalam ruangan akan menyebabkan pengurangan yang signifikan dari

seluruh konsumsi energi, yang juga akan menghasilkan dalam pengurangan emisi gas rumah kaca [3].

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa, iklim memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi energi. Bangunan baru harus dirancang dengan bahan yang lebih disesuaikan dengan iklim untuk mengurangi kebutuhan energi pemanas atau pendingin. British Petroleum (BP), "Inter-governmental Panel on Climate Change" (IPCC), dan "International Energy Agency" (IEA) mengklasifikasikan bangunan, pertanian, industri, dan transportasi, sebagai sektor konsumsi energi utama di seluruh dunia. Komisi Eropa Dalam strategi jangka panjang akan mendekarbonisasi sektor konstruksi, sehingga UE memiliki bangunan nol karbon pada tahun 2050. Manfaat dekarbonisasi bangunan adalah kesehatan, pekerjaan,

tagihan energi yang lebih rendah, dan penghematan biaya sistem [4, 5].

Selubung bangunan (terdiri dari dinding, lantai, jendela, pintu, langit-langit, dll), merupakan komponen penting dari setiap bangunan. Selubung bangunan memisahkan bagian dalam dari luar dan memungkinkan perpindahan panas di dalam atau di luar, memiliki dampak penting pada konsumsi energi karena memiliki peran penting dalam mengatur tingkat termal dalam ruangan, mengendalikan aliran energi (hilang atau diterima) antara bagian dalam dan bagian luar bangunan. Selubung bangunan harus meminimalkan kehilangan panas musim dingin dan perolehan panas musim panas dalam proporsi yang lebih besar.

Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Oleh karena itu, parameter termodinamika selubung bangunan merupakan informasi penting untuk simulasi energi bangunan dan meningkatkan efisiensi energi bangunan yang ada.

Membangun sebuah bangunan harus memperhatikan kehilangan panas melalui selubung bangunan. Selubung bangunan dengan kinerja termal yang baik dapat mengurangi konsumsi energi yang digunakan untuk pemanasan dan pendinginan serta meningkatkan efisiensi energi bangunan. Pada bangunan yang lebih tua, efisiensi energi dapat ditingkatkan dengan menambahkan insulasi pada dinding luarnya [6]. Untuk mencapai insulasi yang optimal, perhitungan harus dilakukan untuk mengetahui koefisien perpindahan panas keseluruhan dan aliran panas yang ditransmisikan melalui masing-masing dinding, sebelum dan sesudah penambahan insulasi.

Kinerja termal dan ketebalan bahan yang digunakan dalam konstruksi memainkan peran penting dalam mengatur kehilangan dan perolehan panas bangunan. Karakteristik termal dan massa dinding eksterior berhubungan dengan bahan konstruksi dari mana dinding tersebut dibuat, karakteristik elemen konstruksi yang membentuk lapisan, dan penempatannya. Bahan konstruksi dengan kapasitas insulasi termal yang tinggi akan mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi oleh bangunan dalam tahap penggunaan, meminimalkan kehilangan panas dan perolehan panas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja termal dinding bangunan dan konsumsi energi bangunan dengan menggunakan aplikasi coolpack.

2. Metode dan Bahan

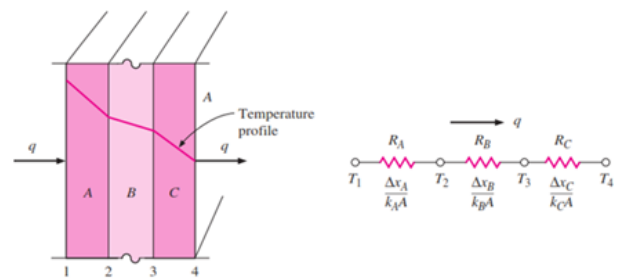
Analisa kehilangan panas pada sebuah bangunan dilakukan dengan mengimplementasikan model matematika untuk mengevaluasi perpindahan panas secara keseluruhan melalui selubung bangunan.

Evaluasi perpindahan panas yang dilakukan pada penelitian ini merupakan perpindahan panas keadaan stabil (steady state). Aliran panas yang melalui dinding sangat bergantung pada perbedaan temperatur permukaan dinding, konduktivitas termal bahan yang digunakan, dan ketebalannya. Perbedaan temperatur merupakan faktor yang bergantung pada lingkungan, sedangkan ketebalan dan konduktivitas adalah karakteristik material. Bahan yang lebih besar tebal menyebabkan aliran panas yang lebih rendah, menyatakan bahwa konduktivitas rendah.

Tahanan termal sebanding dengan ketebalan dinding dan berbanding terbalik dengan konduktivitas termalnya. Dengan demikian, dinding bangunan dengan ketahanan termal yang tinggi adalah isolator yang baik, dan dinding dengan ketahanan termal yang rendah adalah isolator yang lemah.

Perpindahan panas melalui dinding bangunan dimodelkan sebagai keadaan steady satu dimensi. Diasumsikan temperatur dinding hanya bervariasi dalam satu arah normal pada permukaan dinding yaitu arah x dinyatakan $T(x)$, perbedaan temperatur melintasi dinding $\Delta T = T_i - T_e$, ketebalan dinding $X = X_i$, dan luas permukaan A .

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi aliran panas satu dimensi pada dinding berlapis tanpa pembangkit energi dan analog listrik. Perpindahan panas tersebut merupakan perpindahan panas pada dinding berlapis yang dipisahkan oleh dua fluida dengan temperatur yang berbeda. Panas dipindahkan dari sisi fluida panas ke arah fluida dingin, dan temperatur merupakan fungsi dari ketebalan x dan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Berdasarkan Gambar 1, dinyatakan bahwa proses termal tersebut adalah : perpindahan panas konveksi dari fluida panas ke dinding, perpindahan panas secara konduksi melalui lapisan dinding, dan perpindahan panas konveksi dari dinding ke fluida dingin.



Gambar 1. Perpindahan panas pada dinding berlapis dan analog listrik [7]

Perpindahan panas satu dimensi keadaan steady melalui dinding tanpa pembangkitan panas internal, perpindahan panasnya adalah [8, 9]:

$$Q = q \cdot A \quad (W) \quad (1)$$

dimana :

q = laju perpindahan panas (W/m^2)

A = luas permukaan dinding (m^2)

Untuk dinding berlapis dengan struktur yang berbeda dan tanpa sumber panas internal, laju perpindahan panas dinyatakan sebagai berikut :

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R_i} = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{T_i - T_e}{R_{total}} \quad (W/m^2) \quad (2)$$

dimana :

ΔT = beda temperatur (K)

R_{total} = luas permukaan dinding ($m^2 K/W$)

Beda temperatur pada dua permukaan sisi dinding maka koefisien perpindahan panas total, U [8]:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (W/m^2) \quad (3)$$

Perpindahan panas melintasi antarmuka cairan / padat didasarkan pada hukum Newton:

$$Q_{conv} = h_{ci} \cdot A \cdot (T_i - T_e) = A \cdot \frac{(T_i - T_e)}{R_{conv}} \quad (W) \quad (4)$$

Persamaan Fourier, untuk konduksi keadaan tunak melalui setiap bahan lapisan dinding, dapat ditulis :

$$Q_{cond} = k_1 \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{x_1} = A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{x_1}{k_1}} = A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{R_{wall,1}} \quad (W) \quad (5)$$

Resistansi termal pada dinding multilayer merupakan penjumlahan resistansi perpindahan panas konduksi masing-masing dinding dan resistansi perpindahan panas konveksi, yang ditulis sebagai berikut :

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{ci}} \quad (m^2 K/W) \quad (6)$$

$$R_{wall,1} = \frac{x_1}{k_1} \quad (m^2 K/W) \quad (7)$$

Untuk dinding multilayer karena lapisan bahan yang berbeda dengan sifat fisik dan termal yang berbeda (ketebalan dan konduktivitas termal) sering digunakan koefisien perpindahan panas keseluruhan U.

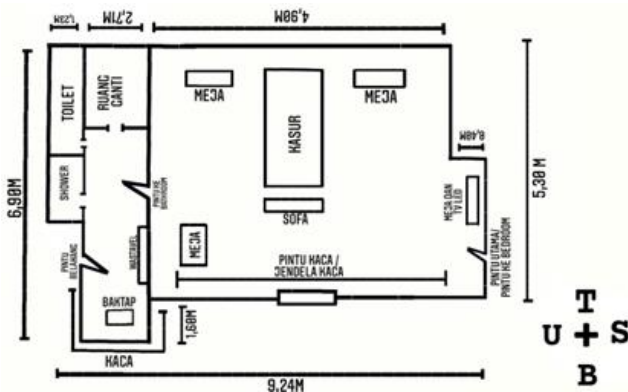
Dinding bangunan dapat disusun oleh beberapa lapisan struktural dan isolasi dari bahan yang berbeda, dan dalam hal ini kasus koefisien perpindahan panas keseluruhan U diberikan sebagai :

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_{conv,i} + R_{cond,1} + R_{cond,2} + R_{conv,e}} \quad (W/m^2 K) \quad (8)$$

Jika pada dinding terdapat jendela, pintu, dll., maka koefisien perpindahan panas keseluruhan U, diperoleh dengan menggunakan nilai U individu dan luas permukaan masing-masing sebagai berikut :

$$U = \frac{(U_{wall} \cdot A_{wall} + U_{door} \cdot A_{door} + U_{window} \cdot A_{window})}{A_{total}}$$

Denah bangunan yang akan dianalisis perpindahan termalnya ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Denah bangunan

Kriteria bahan dan dimensi bangunan pada Gambar 2 adalah sebagai berikut :

2.1. Ukuran Ruang

Luas ruang : 9,24 x 6,90 = 64 m²

Tinggi : 2,60 m

2.2. Beban pendinginan terdiri dari :

a. Penghuni = 2 orang

b. Lampu LED = 16 x 5 Watt = 80W

c. TV Led = 1 unit = 100 Watt

d. Kipas Angin = 70 Watt

2.3. Spesifikasi Dinding :

2.3.1. Dinding 1

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = 6,90 x 2,60 = 18 m²

Pintu = 2,60 x 0,8 = 2,08 m²

Luas dinding 1 - luas pintu = 18 - 2,08 = 15,92 m²

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.2. Dinding 2

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = 9,24 x 2,60 = 24 m²

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.3. Dinding 3

Paras Jogja - plester - bata - plester - traso

Luas = 5,30 x 2,60 = 13,78 m²

Pintu = 2,60 x 0,8 = 2,08 m²

Luas wall 3 - luas pintu = 13,78 - 2,08 = 11,7 m²

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.3.4. Dinding 4

Full kaca

Luas = 9,24 x 2,60 = 24 m²

Berhubungan langsung dengan udara luar 32°C

2.4. Spesifikasi Lantai :

Beton + kayu

k_{beton} = 1,13 W/m.K, x_{beton} = 20 cm = 0,2 m

k_{kayu} = 1,35 W/m.K, x_{kayu} = 5 cm = 0,05 m

2.5. Spesifikasi Atap:

Beton + gypsum

k_{beton} = 1,13 W/m.K, x_{beton} = 20 cm = 0,2 m

k_{gypsum} = 0,18 W/m.K, x_{gypsum} = 9 mm = 0,009 m

2.6. Menghitung U value:

2.6.1. Dinding 1

$$U = \frac{1}{R_i + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{x_4}{k_4} + \frac{x_5}{k_5} + R_o}$$

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46}$$

$$= 2,1 W/(m^2.K)$$

$$U \text{ Value pintu kaca} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,03}{5,1} + 0,04} = \frac{1}{0,17}$$

$$= 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ rata-rata} = \frac{((A_{\text{wall}} \times U_{\text{wall}}) + (A_{\text{Door}} \times U_{\text{Door}}))}{(A_{\text{total}})}$$

$$= \frac{((15,92 \times 2,1) + (2,08 \times 5,8))}{(18)} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.2. Dinding 2

U Value dinding

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46} = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.3. Dinding 3

U Value dinding

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,05}{0,77} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,1}{0,56} + \frac{0,015}{0,94} + \frac{0,02}{1,3} + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,46} = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ Value pintu kayu} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,03}{3} + 0,04} = \frac{1}{0,18}$$

$$= 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U \text{ rata-rata} = \frac{((11,7 \times 2,1) + (2,08 \times 5,5))}{(13,78)} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.4. Dinding 4

$$U \text{ Value kaca} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,01}{5,1} + 0,04}$$

$$U = \frac{1}{0,17} = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.5. Lantai

$$U \text{ Value lantai} = \frac{1}{0,17 + \frac{0,2}{1,13} + \frac{0,05}{3} + 0,04} = \frac{1}{0,40}$$

$$= 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

2.6.4. Atap

$$U \text{ Value Cieling} = \frac{1}{0,10 + \frac{0,2}{1,13} + \frac{0,009}{0,18} + 0,04} = \frac{1}{0,36}$$

$$= 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{Wall 4} = A_{\text{win}} = 9,24 \times 2,60 = 24 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{win}} (\text{wall 4 jendela menghadap ke barat})$$

$Q_{\text{win}} = \text{solar intensity} \times \text{solar radiation factor} \times \text{luas jendela kaca}$

$$= 144,58 \times 0,52 \times 24 \text{ m}^2 = 1,804 \text{ W}/\text{m}^2$$

Solar Intensity dan Solar Heat Gain Factor

Posisi Jendela Kaca	Solar Radiation Factor melalui Kaca	Solar Intensity (W/m2)	Solar Transmission Factor
Utara	0.48	43.24	1.04
Timur Laut	0.13	96.14	1.34
Timur	0.11	144.58	1.45
Tenggara	0.14	131.50	1.45
Selatan	0.22	79.38	1.16
Barat Daya	0.52	131.57	1.45
Barat	0.52	144.58	1.45
Barat Laut	0.47	96.14	1.34

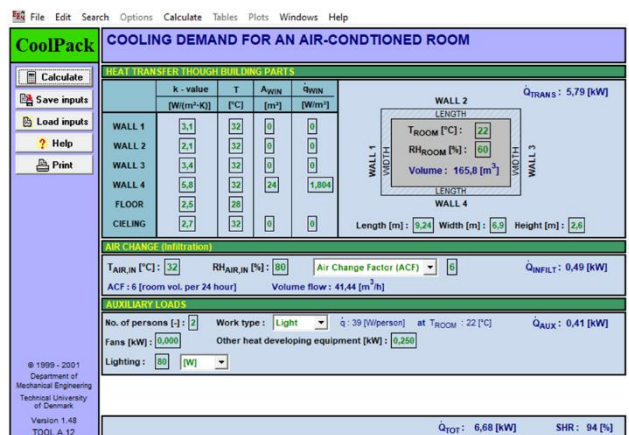
Gambar 3. Solar Heat Gain [10]

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis perpindahan panas pada bangunan seperti pada Gambar 2 dilakukan dengan menggunakan aplikasi coolpack. Aplikasi coolpack dapat melakukan analisis perpindahan panas melalui dinding bangunan satu lapisan ataupun multilayer yang memiliki beberapa lapisan yang berbeda.

Data yang diinput pada aplikasi coolpack untuk menganalisis perpindahan panas ke dinding dapat dilihat pada Gambar yaitu:

- Temperatur dalam dan luar ruangan yang mengelilingi dinding;
- Karakteristik material (konduktivitas termalnya) untuk setiap lapisan dan lebarnya;
- Koefisien konveksi untuk udara dalam dan luar ruangan;
- Luas permukaan dinding.



Gambar 4. Aplikasi Coolpack

Dengan memasukkan semua parameter yang telah dihitung pada aplikasi didapatkan:

$$Q_{\text{tot}} = 6,68 \text{ kW}$$

$$= 6,68 \text{ kW} \times 3,412 = 23,000 \text{ Btu}/\text{h}$$

Perhitungan daya dan cooling untuk luas ruangan total 64 m² maka AC existing yang terpasang sebesar 2,5 PK =

24.000 Btu/h. Dengan total beban pendinginan (Cooling) yakni 6,68 kW atau 23.000 Btu/h. Dari hasil tersebut 6,68 kW dibagi dengan 2,625 kW (Cooling AC 1 PK) maka AC yang akan digunakan adalah 2,5 PK.

4. Kesimpulan

Pengetahuan tentang konduktifitas termal bahan, temperatur lingkungan, dan pemilihan ketebalan dinding menjadi dasar untuk merancang selubung bangunan yang benar. Desain selubung yang baik atau pemasangan insulasi termal yang baik dan benar akan menjamin kinerja termal yang baik, mengurangi polusi dan biaya energi yang rendah yang dibutuhkan untuk memanaskan dan mendinginkan bangunan. Aplikasi coolpack dapat digunakan untuk menganalisis perpindahan panas melalui selubung bangunan.

Untuk menghitung perpindahan panas di dinding bangunan diasumsikan laju perpindahan panas konstan. Aplikasi coolpack mengevaluasi distribusi temperatur di dinding dan menghitung ketahanan termal lapisan, koefisien perpindahan panas keseluruhan dan laju aliran panas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis dapat menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan atau dukungan dari teman sejawat, atau teknisi yang telah membantu menyelesaikan tugas tertentu. Ucapan terima kasih ditulis di dalam artikel tanpa nomor.

Daftar Pustaka

- [1] L. S. Paraschiv, N. Acomi, A. Serban, and S. Paraschiv, "A web application for analysis of heat transfer through building walls and calculation of optimal insulation thickness," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 343-353, 2020.
- [2] V. Chetan, K. Nagaraj, P. S. Kulkarni, S. K. Modi, and U. Kempaiah, "Review of passive cooling methods for buildings," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, p. 012054.
- [3] M. Levine, D. Üрге-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. Mongameli Mehlwana, S. Mirasgedis, and A. Novikova, "Residential and commercial buildings," *Climate change*, vol. 20, p. 17, 2007.
- [4] M. K. Nematchoua, A. Yvon, S. E. J. Roy, C. G. Ralijaona, R. Mamiharijaona, J. N. Razafinjaka, and R. Tefy, "A review on energy consumption in the residential and commercial buildings located in tropical regions of Indian Ocean: A case of Madagascar island," *Journal of Energy Storage*, vol. 24, p. 100748, 2019.
- [5] E. Efficiency, "International Energy Agency," *Organ*, 2019.
- [6] K. Zhu, X. Li, Y. Wang, X. Chen, and H. Li, "Dynamic performance of loop heat pipes for cooling of electronics," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 4163-4168, 2017.
- [7] J. Holman, "Heat Transfer tenth edition, ser," ed: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering. McGraw Hill Higher Education, 2009.
- [8] F. P. Incropera, A. S. Lavine, T. L. Bergman, and D. P. DeWitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*: Wiley, 2007.
- [9] T. L. Bergman, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, and A. S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*: John Wiley & Sons, 2011.
- [10] A. H. Fundamentals, "SI Edition, Atlanta: American Society of Heating," *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*, 2001.