

**KAJI ESKPERIMEN *OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE* (OTTV)
PADA DINDING BANGUNAN MENGGUNAKAN VARIASI CAT**

(Skripsi)

Oleh:

Risko Herlambang

1615021021



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

STUDY OF OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE (OTTV) EXPERIMENTS ON BUILDING WALLS USING PAINT VARIATIONS

By:

Risiko Herlambang

The high intensity of solar radiation greatly affects the ambient air temperature in Indonesia with an average resulting temperature of $\pm 32^{\circ}\text{C}$. Overall thermal transfer value (OTTV) is a number of the amount of thermal energy that is determined as a design criterion for a conditioned building envelope. This research was carried out using a solar simulator as a substitute for solar radiation, the research material was a wall with one side covered with paint. The side of the wall with a layer of paint is exposed to solar radiation and the side of the wall without a layer of paint is not exposed to radiation. This study examines how the heat transfer rate is on the walls of buildings that are coated with paint and the OTTV value with 3 walls with a size of 30x30x11 cm and each wall is coated with a different paint (interior, exterior and waterproof). The data collection takes 120 minutes and is taken every 20 minutes. The results of this study are that the highest heat transfer rate occurs on walls with an interior paint layer and the lowest occurs on walls with a waterproof paint layer and the highest OTTV value also occurs on walls with an interior paint layer and the lowest occurs on walls with a waterproof paint layer with a large value which is not very significant. The OTTV value on the three walls does not exceed 35 W/m² and is approved as safe by SNI.

Keywords: OTTV, Heat Transfer Rate, Paint

ABSTRAK

KAJI ESKPERIMEN *OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE* (OTTV) PADA DINDING BANGUNAN MENGUNAKAN VARIASI CAT

Oleh:

Risiko Herlambang

Tingginya intensitas radiasi matahari sangat mempengaruhi temperatur udara lingkungan di Indonesia dengan rata-rata temperatur yang dihasilkan dapat mencapai $\pm 32^{\circ}\text{C}$. *Overall thermal trasfer value* (OTTV) adalah angka dari besar energi termal yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk selubung bangunan yang dikondisikan. Penelitian ini dilakukan dengan alat *solar simulator* sebagai pengganti dari radiasi matahari, bahan penelitian berupa dinding dengan salah satu sisi yang dilapisi oleh cat. Sisi dinding dengan lapisan cat terkena radiasi matahari dan sisi dinding tanpa lapisan cat tidak terkena radiasi. Penelitian ini mengkaji bagaimana laju perpindahan panas pada dinding bangunan yang dilapisi cat dan besar nilai OTTV dengan 3 dinding dengan ukuran 30x30x11 cm dan masing-masing dinding dilapisi dengan cat yang berbeda (interior, eksterior dan *waterproof*). Pada pengambilan data menggunakan waktu 120 menit dan diambil per 20 menit. Hasil dari penelitian ini adalah laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada dinding dengan lapisan cat interior dan terendah terjadi pada dinding dengan lapisan cat *waterproof* dan nilai OTTV arah tertinggi terjadi juga pada dinding dengan lapisan cat interior dan terendah terjadi pada dinding dengan lapisan cat *waterproof* dengan besar nilai yang tidak terlalu signifikan. Nilai OTTV pada ketiga dinding tersebut tidak melebihi 35 W/m^2 dan disepakati aman oleh SNI.

Kata Kunci: OTTV, Laju Perpindahan Panas, Cat

**KAJI ESKPERIMEN *OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE* (OTTV)
PADA DINDING BANGUNAN MENGGUNAKAN VARIASI CAT**

Oleh

RISKO HERLAMBAANG

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik**



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : KAJI ESKPERIMEN OVERALL THERMAL
TRANSFER VALUE (OTTV) PADA DINDING
BANGUNAN MENGGUNAKAN VARIASI
CAT

Nama Mahasiswa : Risko Herlambang

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615021021

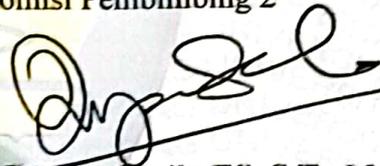
Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2



Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.
NIP. 19711214 200012 1 001

M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng
NIP. 19801001 200812 1 001

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003

Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP. 19701104 199703 2 001

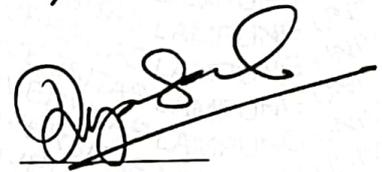
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.



Anggota Penguji : M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng



Penguji Utama : Agus Sugiri, S.T., M. Eng



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 09 Mei 2023

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



RISKO HERLAMBAŃG
NPM. 1615021021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting pada tanggal 26 April 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Muklas dan Ibu Mangzilatul Rohmiah. Penulis tinggal di Desa Wayharong, Kec. Air Nanningan, Kabupaten Tanggamus. Nomor handpone penulis yaitu 081221409316. Penulis mengawali pendidikan formal di TK PKK Wayharong (2003-2004), SD Negeri 1 Wayharong (2004-2010), SMP Negeri 1 Talang Padang (2010-2013) dan SMA Negeri 1 Gadingrejo (2013-2016). Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik pada tahun 2018 sebagai anggota divisi Pemberdayaan Sumber Daya Manusia (PSDM) dan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) pada tahun 2019 sebagai Kepala Bidang Organisasi dan Kepemimpinan. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Bendungan Batutegei pada bulan Juli-Agustus 2020 dengan judul Perhitungan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Air PLTA Batutegei Kapasitas $2 \times 14,3$ MW Airnanningan, Tanggamus. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sungai Luar, Kec. Menggala Timur, Kab. Tulang Bawang. Pada Skripsi ini penulis melaksanakan penelitian dengan judul “Kaji Eksperimental *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) Pada Dinding Bangunan Menggunakan Variasi Cat” di bawah bimbingan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. dan Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.T. dan sebagai pembahas Bapak Agus Sugiri, S.T., M.T.

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.”
(QS. Al-Insyirah: 6)

““Usaha dan keberanian tidak cukup tanpa adanya tujuan dan arah perencanaan”.
(John F. Kennedy)

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat ALLAH. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat ALLAH melainkan orang-orang yang kufur”
(QS. Yusuf : 87)

"Masa depan adalah milik mereka yang percaya pada keindahan mimpi mereka".
(Eleanor Roosevelt)

“Nikmati prosesnya karena indah akan datang pada waktunya”

PERSEMBAHAN



Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang Alhamdulillah hirobbil 'alamin, dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmad, rezeki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

Ayahku (Muklas) dan Ibuku (Mangzilatul Rohmiah)

Kedua orangtuaku terima kasih atas segala ilmu yang telah kalian berikan dan atas segala dukungan untuk menguatkanmu yang senantiasa mencintaiku dan menyayangiku dengan penuh kasih sayang dengan penuh kesabaran dalam mendidik, merawatku sedari kecil, mendoakanku agar aku menjadi orang yang sukses, mengorbankan segalanya untuk kebahagiaanmu dan cita-citaku, menasehatiku agar aku menjadi pribadi yang lebih baik lagi dan tidak pernah menyerah.

Kakak dan Mbakku

yang selalu memberikan semangat, kasih sayang dan menghiburku ketika aku sedang merasa sedih.

Para Pendidik

Para dosen dan guru-guruku, yang telah memberikan ilmu, nasihat, bimbingan, kesabaran, waktu, dan arahan yang telah diberikan.

Almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWANCANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Skripsi ini berjudul “Kaji Eksperimental *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) Pada Dinding Bangunan Menggunakan Variasi Cat”.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua serta kakak-kakak yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi serta nasihat yang baik bagi penulis;
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung;
3. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya;
4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. sebagai ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung;
5. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi;
6. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan;
7. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.T. sebagai dosen pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi, dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini;

8. Seluruh dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan;
9. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan 2016 yang telah mendukung penulis untuk melaksanakan skripsi sampai selesai.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan khususnya teman-teman Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selain itu, penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penyempurnaan penulisan ini di masa mendatang.

Bandar Lampung, 2023
Penulis

Risiko Herlambang

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN PENULIS	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
SANWANCANA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sifat Termal Material	4
2.2 Perpindahan Panas.....	7
2.3 Radiasi Matahari (Surya).....	11
2.4 Laju Perpindahan Panas pada Dinding.....	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Tahapan Penelitian	27
3.3 Alat Pengujian	27
3.4 Bahan	29
3.5 Metode Pengujian.....	31
3.6 Metode Pengambilan Data	32
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Hasil.....	34
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar Konduktifitas Termal Bahan Pada Temperatur 373K	5
2. Sifat Termo-Fisik Dinding Buram	6
3. Nilai Absorbansi (α) dinding luar dan atap tidak transparan	12
4. Nilai Absorbansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar.....	12
5. Nilai R lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap	21
6. Nilai k bahan bangunan.....	22
7. Nilai R lapisan rongga udara.	23
8. Beda temperatur ekuivalen untuk dinding	24
9. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	26
10. Beda temperatur dinding tanpa cat.....	34
11. Beda temperatur pada dinding cat interior	36
12. Beda temperatur pada dinding cat eksterior.....	37
13. Beda temperatur pada dinding cat waterproof	38
14. Laju perpindahan panas dinding tanpa cat	41
15. Laju perpindahan panas dinding cat interior	43
16. Laju perpindahan panas dinding cat eksterior.....	45
17. Laju perpindahan panas dinding cat waterproof	47
18. Laju perpindahan panas dalam keadaan steady	48
19. Resistensi bahan tembok.....	50
20. Temperatur	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Laju Aliran Kalor	4
2. Perpindahan Panas Secara Konduksi (J.P Holman., 2008)	7
3. Perpindahan Panas Konduksi Pada Bidang Datar (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)	8
4. Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)	9
5. Proses perpindahan panas secara radiasi (maslatip.com).....	10
6. Distribusi Suhu dan Sirkuit Termal Ekuivalen (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017)	15
7. Sirkuit termal ekuivalen untuk komponen dinding seri. (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017))	18
8. Sirkuit termal ekuivalen untuk komponen dinding seri-paralel. (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017))	19
9. Solar Simulator.....	28
10. Solar Meter.....	28
11. Termo Recorder	29
12. Blower	29
13. Dinding.....	30
14. Cat.	31
15. Rangkaian alat pengujian	32
16. Diagram alir penelitian.....	33
17. Beda temperatur dinding	35
18. Beda temperatur pada dinding	36

19. Beda temperatur pada dinding	37
20. Beda temperatur pada dinding	38
21. Susunan seri dinding tanpa cat	40
22. Laju perpindahan panas dinding tanpa cat	41
23. Susunan seri dinding cat interior	42
24. Laju perpindahan panas dinding	43
25. Susunan seri dinding cat eksterior.....	44
26. Laju perpindahan panas dinding	45
27. Susunan seri dinding cat waterproof	46
28. Laju perpindahan panas dinding	48
29. Laju perpindahan panas dalam keadaan steady pada dinding.....	49
30. Nilai OTTV pada ke tiga dinding.....	51
31. Nilai OTTV tertinggi dinding	52
32. Nilai OTTV pada ke tiga dinding.....	53
33. Nilai OTTV tertinggi dinding	53
34. Nilai OTTV pada ke tiga dinding.....	54
35. Nilai OTTV tertinggi dinding	55
36. Nilai OTTV pada ke tiga dinding.....	55
37. Nilai OTTV tertinggi dinding	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi dengan rata-rata energi yang sampai ke bumi sekitar 4,8 kWh/m² sepanjang harinya. Tingginya intensitas radiasi matahari sangat mempengaruhi temperatur udara lingkungan sehingga rata-rata suhu yang dihasilkan pada umumnya dapat mencapai sekitar 32 °C.

Meningkatnya energi termal menyebabkan ketidaknyaman yang dirasakan oleh tubuh manusia, banyak faktor yang menyebabkan hal tersebut, diantaranya yaitu faktor yang dipengaruhi oleh suhu udara, suhu radiasi, kelembaban udara, kecepatan angin serta aktivitas dari manusia itu sendiri. Energi termal dari radiasi matahari yang diserap oleh permukaan dinding bangunan secara konduksi dapat meningkatkan beban energi termal mencapai 30% dari beban termal ruangan (Halimi, 2017).

Pada saat temperatur dinding lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur ruangan, maka energi panas didalam dinding akan dilepaskan ke dalam ruangan sehingga dapat meningkatkan temperatur ruangan. Pada dasarnya material dinding menyimpan energi termal sebanding dengan kalor spesifiknya dimana semakin kecil konduktivitas termal material maka semakin sedikit kalor yang masuk ke dalam ruangan. Beberapa upaya yang dilakukan guna menekan laju perpindahan panas yang masuk kedalam ruangan dengan menggunakan pelapis dinding (Nurwidyaningrum dkk., 2015) serta penggunaan warna yang cerah (Simona dkk., 2020). Kenyamanan termal ruangan sangat mempengaruhi aktivitas yang terjadi di dalamnya sehingga memicu para peneliti melakukan

pengkajian mengenai pengurangan beban termal ruangan serta dapat membantu mewujudkan bangunan rendah energi.

Berdasarkan penelitian Eddy Imam Santoso (2012), untuk mencapai kenyamanan termal yang diinginkan perlu dilakukan kontrol atau tindakan adaptif dari penghuni. Diantaranya dengan mengatur sistem ventilasi, mengatur sirkulasi angin secara mekanik, memberikan tirai pada bagian bangunan yang langsung terkena radiasi matahari bahkan disarankan untuk membuat desain perangkat shading matahari untuk meminimalkan panas radiasi.

Banyak penelitian yang sudah dilakukan untuk analisis nilai *overall thermal transfer value (OTTV)*, salah satunya yang dilakukan oleh Rini Pebri Utari (2018) dengan bahasan analisis nilai *overall thermal transfer value (OTTV)* energi selubung pada bangunan berdasarkan SNI. Pembahasan tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai OTTV pada bangunan rumah 3 lantai di daerah Cluster Perumahan Jasmine Valle.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rini Pebri Utari (2018) tidak di fokuskan untuk material bangunan dan cat yang digunakan. Karena bangunan rumah di Indonesia umumnya tembok yang digunakan menggunakan material bata merah, plaster, aci dan juga menggunakan pelapisan tembok dengan cat, maka belum diketahui nilai OTTV yang terjadi pada tembok dengan lapisan cat tersebut.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perpindahan panas pada dinding yang dilapisi cat sehingga diperoleh nilai OTTV.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini difokuskan pada nilai konduktivitas termal cat pada dinding bangunan. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material dinding berupa bata merah, plaster, aci, dengan dilapisi cat

(*waterproof*, cat interior dan cat eksterior).

2. Pengujian laju perpindahan panas pada dinding dengan beberapa jenis material cat dan material dinding.
3. Menghitung nilai perpindahan termal menyeluruh (*overall thermal transfer value*) atau sering disebut OTTV.

1.4 Sistematika Penulisan

I. Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini terdiri dari teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian seperti perpindahan panas, sifat termal bahan dan sebagainya.

III. Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat pengujian, alat dan bahan yang digunakan, metode pengambilan data, dan sebagainya.

IV. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari data-data yang di peroleh pada saat pengujian.

V. Penutup

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

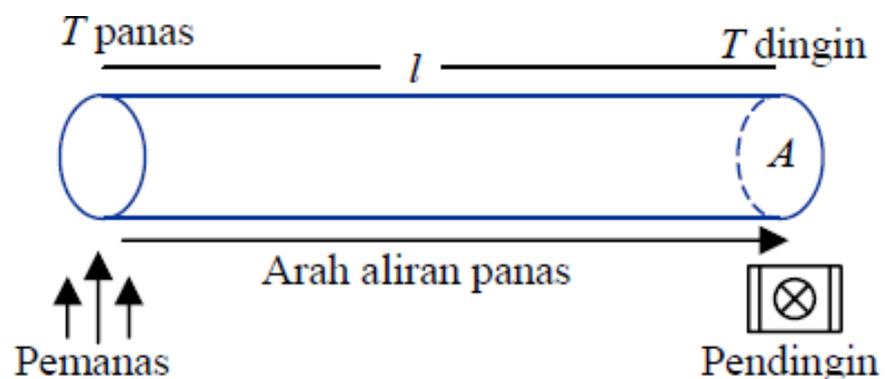
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Termal Material

Sifat termal dari material terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

1. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal dapat didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu. Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor, sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator. Konduktivitas termal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak soal perenkayasaannya perubahannya cukup kecil untuk diabaikan. Nilai angka konduktivitas termal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu. Makin cepat molekul bergerak, makin cepat pula mengangkut energi. Jadi konduktivitas termal bergantung pada suhu. Pada pengukuran konduktivitas termal mekanisme perpindahannya dengan cara konduksi



Gambar 1. Laju Aliran Kalor

$$q = -k.A.\frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.1)$$

dan

$$q = \frac{E}{A \times t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

q = Laju aliran panas (Watt)

E = Energi

A = Luas penampang lintang sampel

T = Suhu

k = Konduktivitas termal

t = Waktu

Silinder standar menggunakan logam Cu (Tembaga) terdiri dari 3 segmen mempunyai diameter 40 mm dengan ketebalan 90 mm pada segmen atas, 30 mm pada segmen tengah dan 90 mm pada segmen bawah. konduktivitas termal 320 Kcal/cmh°C atau 397 W/m.°C. Sedangkan sampel yang digunakan berjumlah dua buah dengan diameter 40mm dan ketebalan masing-masing 4 mm dan 2 mm. Sampel diletakkan diantara segmen silinder standar.

Tabel 1. Daftar Konduktifitas Termal Bahan Pada Temperatur 373K

NO	Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)
1	Alumunium	101,3
2	Batu Bata	0,674
3	Kalsium Silikat	0,063
4	Tembaga	392
5	Kaca	1,25
6	Emas	312
7	Granit	1,78
8	Baja	69,4
9	Kayu Pinus	0,102
10	Perak	427
11	Wool	0,07
12	<i>Limestone</i>	1,43
13	Kayu Spruce	0,112
14	Air	0,679
15	Polystyrene	0,163
16	Plester Termal	0,60

NO	Bahan	Konduktivitas Termal (W/mK)
8	Baja	69,4
17	Tanah Liat	2,5
18	<i>Air</i>	0.03
19	<i>Concrete</i>	0.65
20	<i>Cool coating</i>	0.05
21	<i>Glazing</i>	0.7
22	<i>Plastered concrete block</i>	1.1
23	<i>Plaster</i>	0.25
24	<i>Wood</i>	0.15

Sumber: *Buku Thermophysical Properties of Matter Volume 1 dan 2, Thermo Conductivity of Selected Foam and System from 100 to 300 K.*

Tabel 2. Sifat Termo-Fisik Dinding Buram

Material	Konduktivitas Termal (W/mk)	Panas Spesifik (J/kg K)
<i>Mosaic tile</i>	1.5	840
<i>Sand plastering</i>	0.72	840
<i>Heavy concrete</i>	2.16	840
<i>Gypsum plaster</i>	0.38	840

Sumber: (Chan & Chow, 2014).

Selanjutnya dengan mengplot kenaikan suhu sebagai fungsi waktu, maka akan diperoleh suatu garis lurus yang sesuai dengan persamaan :

$$T = \frac{Q}{4\pi k} \ln(t) + A \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan

T = Temperatur (°C)

Q = Panas yang diproduksi persatuan panjang *probe* (W/m)

k = konduktivitas panas bahan (W/m °C)

t = waktu (sekon)

A = Konstanta yang menyatakan suhu pada saat t = 0 (°C).

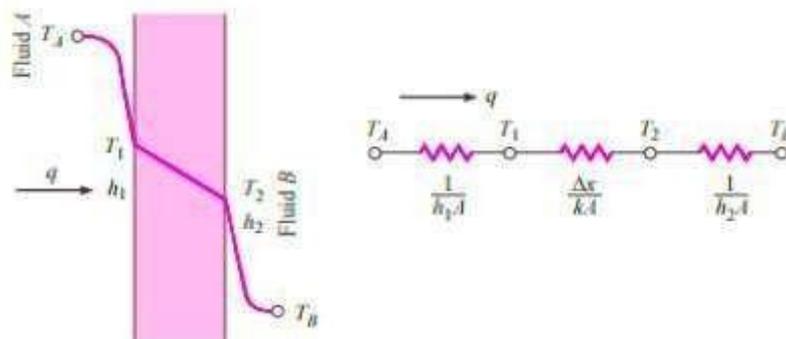
Berdasarkan hukum kedua termodinamika konduktivitas panas dapat diukur jika terjadi perpindahan panas dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah.

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

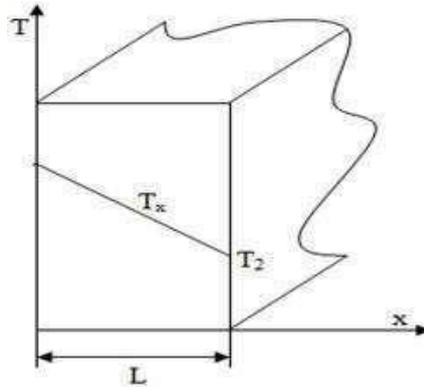
1. Perpindahan panas secara konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat, atau pada media fluida yang diam. Konduksi terjadi akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. Ilustrasi perpindahan panas secara konduksi seperti digambarkan pada gambar 2.2



Gambar 2. Perpindahan Panas Secara Konduksi (J.P Holman., 2008)

Konsep yang ada pada konduksi merupakan suatu aktivitas atomik dan molekuler. Sehingga peristiwa yang terjadi pada konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih energetik (molekul yang lebih berenergi atau bertemperatur tinggi) menuju partikel yang kurang energetik (molekul yang kurang berenergi atau bertemperatur lebih rendah), akibat adanya interaksi antara partikel- partikel tersebut. Proses perpindahan panas secara konduksi pada *steady state* melalui dinding datar suatu dimensi seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 3. Perpindahan Panas Konduksi Pada Bidang Datar (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)

Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier (*Fourier Law of Heat Conduction*) tentang konduksi, yang persamaan matematikanya dituliskan sebagai berikut (Kreith, Frank, 1997):

$$q_{\text{kond}} = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

q_{kond} = Laju perpindahan panas konduksi (W)

K = Konduktivitas thermal bahan (W/m.K)

A = Luas penampang tegak lurus (m^2)

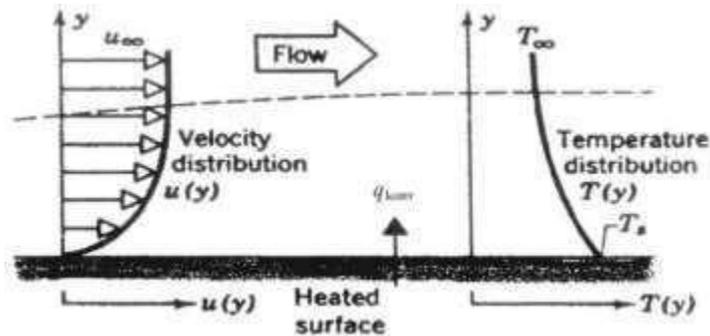
$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur pada penampang tersebut (K/m)

Tanda (-) diselipkan agar memenuhi hukum Termodinamika II, yang menyebutkan bahwa, panas dari media bertemperatur lebih tinggi akan bergerak.

2. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak, begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur.

Suatu fluida memiliki temperatur (T) yang bergerak dengan kecepatan (V), diatas permukaan benda padat (Gambar 2.4). Temperatur media padat lebih tinggi dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir.



Gambar 4. Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir (Incropera dan DeWitt, 3rd ed.)

Laju perpindahan panas konveksi mengacu pada Hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) (Incropera and De Witt), dimana:

$$q_{\text{konv}} = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_∞ = Temperatur fluida (K)

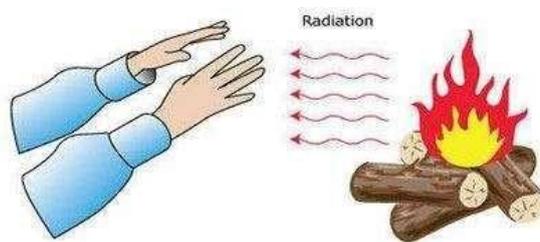
Menurut perpindahan panas konveksi, aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Konveksi paksa (*forced convection*). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh gaya luar. Seperti : blower, pompa, dan kipas angin.
- b. Konveksi alamiah (*natural convection*). Terjadi bila aliran fluida disebabkan oleh efek gaya apungnya (*bouyancy forced effect*). Pada fluida, temperatur berbanding terbalik dengan massa jenis (*density*). Dimana, semakin tinggi temperatur suatu fluida maka massa jenisnya akan semakin

rendah, begitu pula sebaliknya.

3. Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas radiasi dapat dikatakan sebagai proses perpindahan panas dari satu media ke media lain akibat perbedaan temperatur tanpa memerlukan media perantara. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas. Ilustrasi perpindahan panas secara radiasi digambarkan seperti gambar 2.5.



Gambar 5. Proses perpindahan panas secara radiasi (maslatip.com)

Besarnya radiasi yang dipancarkan oleh permukaan suatu benda nyata (*real*) ($q_{\text{rad}\cdot\text{g}}$) adalah:

$$q_{\text{rad}\cdot\text{g}} = \varepsilon \cdot \delta \cdot T^4 \cdot A \dots\dots\dots (2.6)$$

Sedangkan, untuk benda hitam sempurna (*black body*), dengan nilai emisivitas ($\varepsilon = 1$) memancarkan radiasi ($q_{\text{rad}\cdot\text{b}}$), sebesar:

$$q_{\text{rad}\cdot\text{b}} = \delta \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk laju pertukaran panas radiasi keseluruhan, antara permukaan dengan sekelilingnya (*surrounding*) dengan temperatur sekeliling (T_{sur}), adalah:

$$q_{\text{rad}} = \varepsilon \cdot \delta \cdot (T_{\text{sur}}^4 - T^4) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

q_{rad} = Laju pertukaran panas radiasi (w)

ε = Nilai emisivitas suatu benda ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

Σ = Konstanta proporsionalitas, disebut juga konstanta stefan boltzmann dengan nilai $5,67 \times 10^{-8} \text{ (w/m}^2\text{k}^4\text{)}$

A = Luas bidang permukaan

T_s = Temperatur benda (k)

Dalam hal ini semua analisis tentang temperatur dalam pertukaran panas radiasi adalah dalam temperatur mutlak (*absolut*) yaitu *Kelvin*.

2.3 Radiasi Matahari (Surya)

Jumlah tenaga surya tersedia per satuan luas disebut radiasi. Jika ini terjadi selama periode waktu tertentu maka disebut iradiasi atau *insolation*. Satuan ukuran untuk irradiasi adalah watt per meter persegi (W/m^2). Radiasi matahari adalah integrasi atau penjumlahan penyinaran matahari selama periode waktu. Radiasi surya (*solar radiation*) merupakan satu bentuk radiasi termal yang mempunyai distribusi panjang gelombang khusus. Intensitasnya sangat tergantung dari kondisi atmosfer, saat dalam tahun, dan sudut timpa (*angle of incidence*) sinar matahari dipermukaan bumi. Pada batas luar atmosfer, iradiasi total adalah 1395 W/m^2 bilamana bumi berada pada jarak rata-ratanya dari matahari. Angka ini disebut konstanta surya (*solar constant*), dan mungkin akan berubah bila data eksperimental yang lebih teliti sudah ada. Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbon dioksida dan uap air di atmosfer.

Radiasi surya yang menimpa permukaan bumi juga bergantung dari kadar debu dan zat pencemar lainnya dalam atmosfer. Energi surya yang maksimum akan mencapai permukaan bumi bilamana berkas sinar itu langsung menimpa permukaan bumi karena terdapat bidang pandang yang lebih luas terhadap fluks surya yang datang dan berkas sinar surya menempuh jarak yang lebih pendek di atmosfer, sehingga mengalami absorpsi lebih sedikit dari pada jika sudut timpanya miring terhadap normal. Radiasi matahari yang diterima suatu benda meliputi:

1. Radiasi yang diserap (*absorbtion*), yaitu radiasi matahari yang diterima suatu benda tanpa disebarkan oleh atmosfer terlebih dahulu. Nilai *absorbance* termal (α) untuk beberapa jenis permukaan dinding tak transparan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Absorbansi (α) dinding luar dan atap tidak transparan

Bahan dinding luar	α (-)
Beton berat	0,91
Bata Merah	0,89
<i>Bituminous felt</i>	0,88
Batu Sabak	0,87
Beton Ringan	0,86
Aspal jalan setapak	0,82
Kayu permukaan halus	0,78
Beton Ekspos	0,61
Ubin Putih	0,58
Bata kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Cat Alumunium	0,40
Kerikil	0,29
Seng Putih	0,26
Bata glazur putih	0,25
Lembaran Alumunium yang dikilapkan	0,12

Tabel 4. Nilai Absorbansi radiasi matahari untuk cat permukaan dinding luar

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

Perak	0,25
Permis putih	0,21

2. Radiasi diteruskan (*transmitter*), yaitu radiasi matahari yang diterima suatu benda setelah radiasi tersebut diubah arahnya karena disebarkan oleh atmosfer.
3. Radiasi pantulan (*reflection*), yaitu radiasi matahari yang diterima suatu benda dari radiasi matahari yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan dengan benda tersebut.

Bagian yang dipantulkan (refleksivitas(ρ)), bagian yang diserap (*absorbsivitas*(α)), dan bagian yang diteruskan (*transmisivitas*(δ)). Pada benda bening seperti kaca atau benda transparan lainnya maka:

$\rho + \alpha + \delta = 1$ (2.9) Sedangkan untuk benda padat lainnya yang tidak meneruskan radiasi thermal, nilai transmisivitas dianggap nol sehingga:

$$\rho + \alpha = 1 \dots\dots\dots(2.10)$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi matahari pada suatu permukaan di bumi antara lain:

a. Posisi Matahari

Sepanjang bumi mengelilingi matahari pada suatu lintasan yang berbentuk elips, yang disebut sebagai bidang ekliptika. Bidang ini membentuk sudut $23,5^\circ$ terhadap bidang equator. Akibat peredaran bumi mengelilingi matahari, menimbulkan dampak perubahan musim pada permukaan bumi. Di Indonesia sendiri, ada dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Musim hujan terjadi pada saat posisi matahari berada paling jauh diselatan bagi belahan bumi bagian utara (pada umumnya terjadi pada bulan Desember). Sedangkan musim kemarau terjadi pada saat posisi matahari berada pada titik paling utara bagian bumi (pada umumnya terjadi pada bulan Juni).

b. Lokasi dan kemiringan permukaan

Lokasi dan kemiringan permukaan benda di tentukan oleh besarnya sudut datang radiasi pada permukaan benda tersebut.

c. Keadaan Cuaca

Faktor transmisi kandungan atmosfer dapat mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi. Di atmosfer, radiasi matahari diserap oleh unsur-unsur ozon, uap air, dan karbon dioksida. Disamping diserap, radiasi matahari juga dihamburkan oleh partikel-partikel seperti udara, uap air, dan debu. Pada dasarnya, radiasi matahari sering di halangi oleh bermacam-macam tipe awan. Jadi untuk meramalkan radiasi matahari di bumi perlu diketahui tipe awan dan ketebalannya. Masing-masing tipe awan memiliki koefisien transmisi sendiri-sendiri.

2.4 Laju Perpindahan Panas pada Dinding

Untuk konduksi satu dimensi pada dinding bidang, suhu hanya merupakan fungsi dari koordinat x dan panas ditransfer secara eksklusif ke arah ini.

1. Koefisien Permukaan

Koefisien permukaan berpengaruh terhadap perpindahan kalor secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan kalor pada permukaan:

a. Emisifitas permukaan (e)

Emisifitas permukaan yang semakin tinggi akan menyebabkan peningkatan kalor yang hilang secara radiasi. Apabila suatu permukaan memancarkan radiasi kepada suatu daerah yang memiliki suhu yang lebih rendah, maka koefisien permukaan akan meningkat.

b. Kekasaran permukaan

Semakin kasar sebuah permukaan, akan menyebabkan meningkatnya perpindahan kalor secara konveksi yang juga menyebabkan koefisien permukaan meningkat, hal ini disebabkan terjadinya turbulensi (perputaran) udara yang mengalir didekatnya.

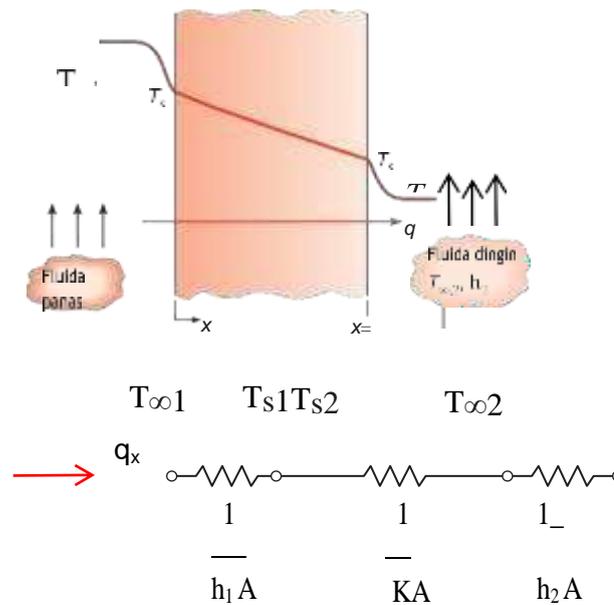
c. Kecepatan udara

Kecepatan udara yang semakin tinggi pada sebuah permukaan akan meningkatkan kadar aliran kalor secara konveksi paksa, dan meningkatkan koefisien permukaan.

d. Suhu

Perbedaan Suhu antara permukaan dan udara di atasnya akan menyebabkan meningkatnya koefisien permukaan disebabkan perpindahan kalor secara konveksi.

2. Distribusi Suhu



Gambar 6. Distribusi Suhu dan Sirkuit Termal Ekvivalen (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017))

Distribusi suhu di dinding dapat ditentukan dengan menyelesaikan persamaan panas dengan kondisi batas yang tepat. Untuk kondisi tunak tanpa sumber terdistribusi atau penyerap energi di dalam dinding

$$\frac{d}{dx}(k \frac{dT}{dx}) = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

Oleh karena itu, dari Persamaan 2.11, dapat disimpulkan bahwa, untuk konduksi satu dimensi, *steady-state* di dinding bidang tanpa pembangkitan panas, fluks panas adalah konstanta, tidak bergantung pada x.

Konduktivitas termal material dinding diasumsikan konstan, persamaan dapat diintegrasikan dua kali untuk mendapatkan solusi umum.

$$T(x) = C1x + C2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk mendapatkan konstanta integrasi C_1 dan C_2 , kondisi batas harus diperkenalkan. Misalkan kondisi jenis pertama pada $x = 0$ dan $x = L$, dalam hal ini

$$T(0) = T_{s1} \text{ dan } T(L) = T_{s2}$$

Menerapkan kondisi pada $x = 0$ ke solusi umum, sebagai berikut

$$T_{s1} = C_2$$

Demikian pula, pada $x = L$

$$T_{s2} = C_1 L + C_2 = C_1 L + T_{s1}$$

dalam hal ini

$$\frac{T_{s2} - T_{s1}}{L} = C_1$$

Mengganti ke solusi umum, kemudian distribusi suhu

$$T(x) = (T_{s2} + T_{s1}) \frac{x}{L} - T_{s1} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dari hasil ini terbukti bahwa, untuk konduksi satu dimensi, *steady-state conduction* pada tembok tanpa pembangkitan panas dan konduktivitas termal konstan, suhu bervariasi secara linier dengan x . Sekarang kita memiliki distribusi suhu, kita dapat menggunakan hukum Fourier, untuk menentukan laju perpindahan panas konduksi.

$$q_x = -k.A. \frac{dT}{dx} = \frac{KA}{L} (T_{s2} - T_{s1})$$

Perhatikan bahwa A adalah luas dinding yang normal terhadap arah perpindahan panas untuk dinding bidang, ini adalah konstanta yang tidak bergantung pada x . Fluks panas kemudian

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \frac{K}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \dots \dots \dots (2.14)$$

3. Ketahanan termal

Secara khusus, ada analogi antara difusi panas dan muatan listrik. Seperti halnya hambatan listrik dikaitkan dengan konduksi listrik, hambatan termal dapat dikaitkan dengan konduksi panas. Mendefinisikan resistansi sebagai rasio dari potensi penggerak ke kecepatan transfer yang sesuai, resistansi

termal untuk konduksi di dinding bidang adalah

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s2} - T_{s1}}{q_x} = \frac{L}{KA} \dots\dots\dots(2.15)$$

Resistensi termal juga dapat dikaitkan dengan perpindahan panas melalui konveksi di permukaan. Dari hukum pendinginan Newton

$$q_{konv} = h.A.(T_s - T_\infty)$$

Resistensi termal untuk konveksi adalah

$$R_{t,conv} = \frac{T_{s2} - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \dots\dots\dots(2.16)$$

Sirkuit termal ekuivalen untuk dinding bidang dengan kondisi permukaan konveksi ditunjukkan pada gambar 2.6. Laju perpindahan panas dapat ditentukan dari pertimbangan terpisah dari setiap elemen dalam jaringan. Karena q_x konstan di seluruh jaringan, maka itu mengikuti

$$q_x = \frac{T_{\infty1} - T_{s1}}{1/h1A} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{1/kA} = \frac{T_{s2} - T_{\infty2}}{1/h2A} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dalam hal perbedaan suhu keseluruhan, $T_{\infty1} - T_{\infty2}$ dan resistansi termal total, R_{tot} laju perpindahan panas juga dapat dinyatakan sebagai

$$q_x = \frac{T_{\infty1} - T_{\infty2}}{R_{tot}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Karena resistansi konduksi dan konveksi adalah seri dan dapat dijumlahkan, berikut ini

$$R_{tot} = \frac{1}{h1 A} + \frac{1}{K A} + \frac{1}{h2 A} \dots\dots\dots(2.19)$$

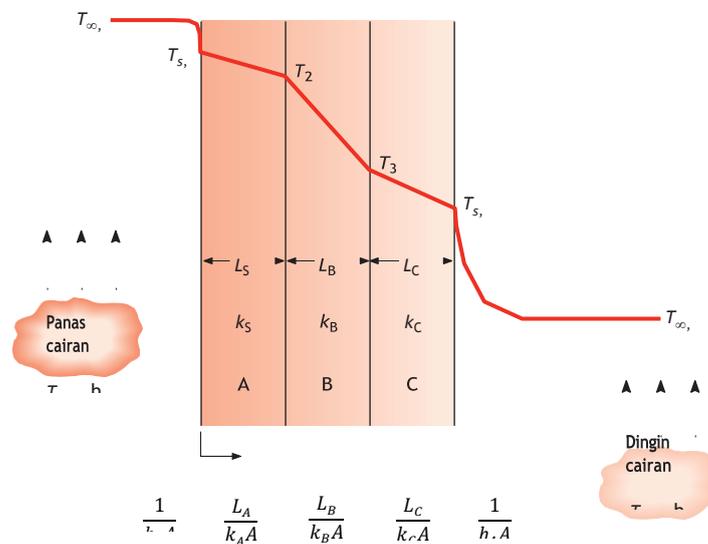
Pertukaran radiasi antara permukaan dan lingkungan mungkin juga penting jika koefisien perpindahan panas konveksi kecil (seperti yang sering terjadi pada konveksi alami dalam gas). Resistansi termal untuk radiasi dapat ditentukan dengan mengacu

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sur}}{q_{rad}} = \frac{1}{hrA} \dots\dots\dots(2.20)$$

Untuk radiasi antara permukaan dan lingkungan yang luas, resistensi radiasi dan konveksi permukaan bekerja secara paralel, dan jika $T_{\infty} = T_{sur}$

4. Komponen pada dinding

Sirkuit termal ekivalen juga dapat digunakan untuk sistem yang lebih kompleks, seperti dinding komposit.



Gambar 7. Sirkuit termal ekivalen untuk komponen dinding seri. (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017))

Laju perpindahan panas satu dimensi untuk sistem ini dapat dinyatakan sebagai

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\Sigma R_{tot}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana $T_{\infty 1} - T_{\infty 2}$ adalah perbedaan suhu keseluruhan dan penjumlahannya mencakup semua resistansi termal. Karenanya

$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\left(\frac{1}{h_1 A}\right) + \left(\frac{L_A}{k_A A}\right) + \left(\frac{L_B}{k_B A}\right) + \left(\frac{L_C}{k_C A}\right) + \left(\frac{1}{h_2 A}\right)} \dots\dots\dots(2.22)$$

Sebagai alternatif, laju perpindahan panas dapat dikaitkan dengan perbedaan suhu dan resistensi yang terkait dengan setiap elemen. Sebagai contoh

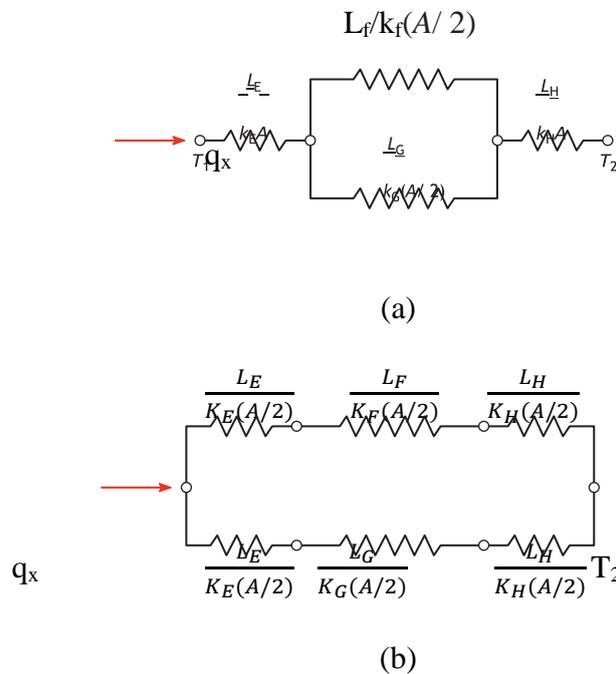
$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\left(\frac{1}{h_1 A}\right)} = \dots = \dots = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\left(\frac{1}{h_4 A}\right)} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dengan sistem komposit, sering kali lebih mudah untuk bekerja dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan U

$$q_x = U \cdot A \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan ΔT adalah perbedaan suhu keseluruhan. Koefisien perpindahan panas keseluruhan terkait dengan hambatan termal total

$$U = \frac{1}{R_{tot} A} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_1}\right) + \left(\frac{L_A}{k_A}\right) + \left(\frac{L_B}{k_B}\right) + \left(\frac{L_C}{k_C}\right) + \left(\frac{1}{h_4}\right)} \dots \dots \dots (2.25)$$



Gambar 8. Sirkuit termal ekuivalen untuk komponen dinding seri-paralel. (Fundamentals of Heat and Mass Transfer-Wiley (2017))

Secara umum, dapat ditulis

$$R_{tot} = \sum R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \dots \dots \dots (2.26)$$

5. OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*)

Teori OTTV (SNI 03-6389 2000) adalah angka yang ditetapkan sebagai kriteria perancangan untuk selubung bangunan yang dikondisikan. Selubung bangunan yang dimaksudkan adalah elemen bangunan yang menyelubungi

bangunan gedung, yaitu dinding luar dan atap tembus dan tidak tembus cahaya dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen tersebut.

Membatasi perolehan panas akibat radiasi matahari lewat selubung bangunan, maka ditentukan nilai perpindahan termal menyeluruh untuk selubung bangunan tidak melebihi atau sama dengan 35 watt/m^2 . Nilai perpindahan termal menyeluruh atau *OTTV* untuk setiap bidang dinding luar bangunan gedung dengan orientasi tertentu, harus dihitung melalui persamaan:

$$OTTV = \alpha [(UW \times (1 - WWR) \times TDEK] + (Uf \times WWR \times \Delta T) + (SC \times WWR \times SF) \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:

OTTV = Nilai perpindahan termal menyeluruh pada dinding luar yang memiliki arah atau orientasi tertentu (W/m^2).

α = absorptans radiasi matahari. (Tabel 2.3 dan 2.4);

UW = Transmittans termal dinding ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

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

TDEK = Beda temperatur ekuivalen (K);

SF = Faktor radiasi matahari (W/m^2);

SC = Koefisien peneduh dari sistem fenestrasi;

Uf = Transmittans termal fenestrasi ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$);

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

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:

$$OTTV = [\alpha_1 \{U_{W1} \times A_1/\Sigma A (1 - WWR) \times TD_{EK}\} + \alpha_2 \{U_{W2} \times A_2/\Sigma A (1 - WWR) \times TD_{EK}\} + \dots\dots\dots \{U_{Wn} \times A_n/\Sigma A (1 - WWR) \times TD_{EK}\}] + \{Uf \times WWR \times \Delta T\} + \{SC \times WWR \times SF\} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan :

A_1 = area dinding dengan material 1.

A_2 = area dinding dengan material 2.

A_n = area dinding dengan material n.

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

Untuk menghitung *OTTV* seluruh dinding luar, digunakan persamaan sebagai berikut :

dengan :

$$OTTV = \frac{(A_{01} \times OTTV_1) + (A_{02} \times OTTV_2) + \dots + (A_{0i} \times OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \dots + A_{0n}} \dots \dots \dots (2.29)$$

A_{0i} = luas dinding pada bagian dinding luar i (m^2). Luas total ini termasuk semua permukaan dinding tidak tembus cahaya dan luas permukaan jendela yang terdapat pada bagian dinding tersebut.

$OTTV_i$ = nilai perpindahan termal menyeluruh pada bagian dinding I ($Watt/m^2$) sebagai hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.28 atau 2.29)

6. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *OTTV*

a. Transmittans termal (*U*)

Untuk dinding tidak transparan dan fenestrasi yang terdiri dari beberapa lapis komponen bangunan, maka besarnya *U* dihitung dengan rumus :

$$U = \frac{1}{R_{total}} \dots \dots \dots (2.30)$$

dengan :

R_{Total} = Resistansi termal total

b. Resistans lapisan udara luar (R_{UL})

Besarnya nilai R_{UL} ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai R lapisan udara permukaan untuk dinding dan atap

Jenis Permukaan	Resistans Termal R ($m^2.K/W$)	
Permukaan dalam (R_{UP})	Emisivitas tinggi	0,120
	Emisivitas rendah	0,299
Permukaan luar (R_{UL})	Emisivitas tinggi	0,044

Sumber : SNI 6389:2011

Keterangan :

Emisivitas tinggi adalah permukaan halus yang tidak mengkilap (non reflektif)

Emisivitas rendah adalah permukaan dalam yang sangat reflektif, seperti alumunium foil.

c. Resistans termal bahan (R_K)

$$R_K = \frac{t}{k} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dengan :

t = tebal bahan (m)

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

Besarnya nilai k untuk berbagai jenis bahan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai k bahan bangunan

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

d. Resistansi termal rongga udara (R_{RU})

Nilainya ditunjukkan pada tabel 2.7.

Tabel 7. Nilai R lapisan rongga udara.

No	Jenis celah udara	Resistensi termal (m^2K/W)			
		5 mm	10 mm	100 mm	
1	R_{RU} untuk dinding Rongga udara vertikal (aliran panas secara horizontal).				
	1. Emisifitas tinggi	0,11	0,148	0,160	
	2. Emisifitas rendah	0,25	0,578	0,606	
2	RRU untuk atap Rongga udara horizontal/miring (aliran panas kebawah).				
	1. Emisifitas tinggi	rongga udara horizontal	0,11	0,148	0,174
		rongga udara dengan kemiringan $22\frac{1}{2}^\circ$	0,11	0,148	0,165
		rongga udara dengan kemiringan 45°	0,11	0,148	0,158
	2. Emisifitas Rendah	rongga udara horizontal	0,25	0,572	1,423
		rongga udara dengan kemiringan $22\frac{1}{2}^\circ$	0,25	0,571	1,095
		rongga udara dengan kemiringan 45°	0,25	0,570	0,768
	3	R_{RU} untuk loteng			
		1. Emisifitas tinggi		0,458	
2. Emisifitas rendah			1,356		

e. Resistansi lapisan udara permukaan (R_{UP})

Nilainya seperti ditunjukkan pada tabel 2.5.

f. Beda temperatur ekuivalen

Beda temperatur ekuivalen (TD_{EK}) dipengaruhi oleh :

1. Tipe, massa dan densitas konstruksi

2. Intensitas radiasi dan lama penyinaran
3. Lokasi dan orientasi bangunan
4. Kondisi perancangan

Untuk menyederhanakan perhitungan OTTV, maka nilai TDEK untuk berbagai tipe konstruksi tercantum pada tabel 8.

Tabel 8. Beda temperatur ekuivalen untuk dinding

Berat/satuan luas (kg/m^2)	TD_{EK}
Kurang dari 125	15
126 ~ 195	12
lebih dari 195	10

- g. Faktor radiasi matahari (*Solar Factory* = SF)

Faktor radiasi matahari dihitung antara jam 07.00 sampai dengan jam 17.00.

- h. Fenetrasi

Bukan pada selubung bangunan fenetrasi dapat berlaku sebagai hubungan fisik dan/atau visual ke bagian luar gedung, serta menjadi jalan masuk radiasi matahari fenetrasi dapat dibuat tetap atau dibuat dapat dibuka.

- i. Koefisien peneduh

Pada rumus OTTV, faktor radiasi matahari dihitung berdasarkan radiasi matahari tahunan yang ditransmisikan melalui jendela kaca bening setebal 3 mm. Untuk sistem bukaan yang lain, arus perolehan kalor matahari dimodifikasi dengan koefisien peneduh yang didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan kalor matahari melalui sistem bukaan yang mempunyai kombinasi *glazing* dan koefisien peneduh dengan perolehan kalor matahari yang melalui kaca bening dengan tebal 3 mm. Perbandingan ini merupakan karakteristik unik pada setiap jenis bukaan. Secara umum koefisien peneduh pada setiap sistem fenestrasi didapatkan dengan mengalikan koefisien peneduh kaca (atau koefisien peneduh

efektif dari kaca dengan *solar control film* (kaca film) yang ada pada kaca) dengan koefisien peneduh peralatan peneduh matahari seperti pada rumus berikut:

$$SC = SCk \times SC_{eff} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dengan :

SC = koefisien peneduh sistem fenestrasi

SCk = koefisien peneduh kaca atau koefisien peneduh efektif dari kaca dengan *solar control film* (kaca film)

SC_{eff} = koefisien peneduh efektif peralatan peneduh luar

j. Luas permukaan selubung bangunan

Luas permukaan selubung bangunan terutama pada pemahaman WWR (*Wall to Window Ratio*) sangat berperan dalam perhitungan OTTV karena berkaitan dengan besarnya luas paparan radiasi panas yang diterima pada bangunan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai laju perpindahan panas pada dinding yang dilapisi oleh cat sehingga didapatkan nilai OTTV (*overall thermal transfer value*). Cat yang digunakan pada penelitian ini adalah cat *waterproof*, cat internal dan cat eksternal. Dalam penelitian ini alat yang digunakan dalam pengujian adalah *solar simulator*, *solar meter*, *temperature recoder* dan *stopwach*

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Pengujian alat dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Maret 2022 sampai dengan bulan Juni 2022.

Tabel 9. Jadwal Kegiatan Penelitian.

Kegiatan	Maret				April				Mei				Juni				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Studi Literatur																	
Persiapan																	
Pengujian																	
Analisis Data																	
Penulisan Laporan																	

3.2 Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang terdapat dalam tabel 3.1 sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini yaitu mengenai pengertian perpindahan panas, sifat termal bahan, pengertian cat dan perhitungan *Steady State Conduction*.

2. Persiapan

a. Persiapan bahan uji

Membuat bahan uji berupa dinding berbentuk persegi dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 50 mm dan tebal 10 cm serta cat *interior*, cat *waterproof* dan cat *eksterior* dengan tebal 4,5 mm.

b. Persiapan alat uji

Merancang sebuah alat *solar simulator* dan *solar meter* dengan menggunakan intensitas radiasi sebesar 1100 watt/m^2 .

3. Pengujian

Pengujian ini dilakukan menggunakan intensitas radiasi pada dinding sebesar 1100 watt/m^2 yang memiliki 3 variabel yaitu pengujian menggunakan lapisan cat interior, cat *waterproof* dan cat eksterior.

4. Penulisan Laporan

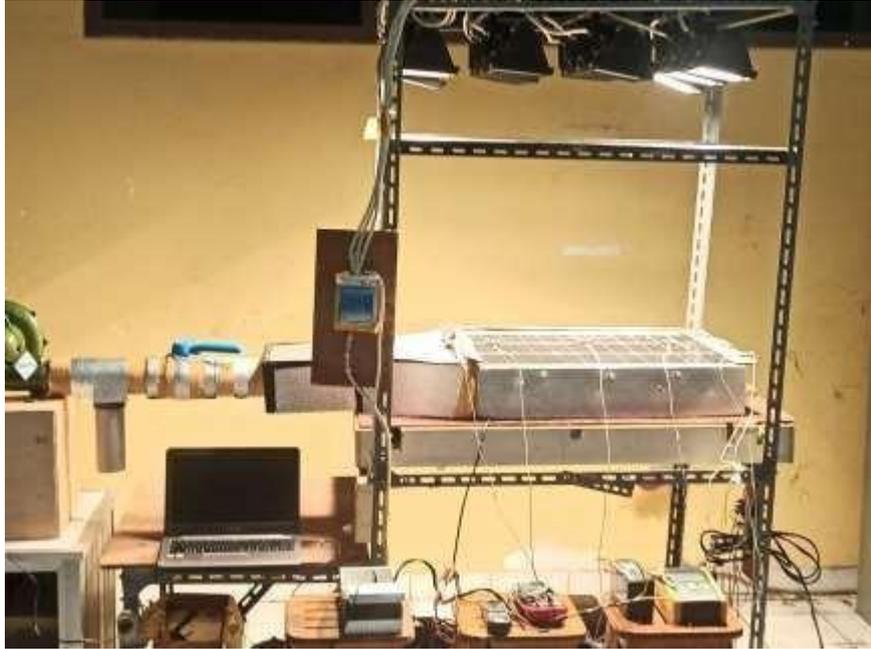
Penulisan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian. Penulisan laporan bertujuan untuk menunjukkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Skema penulisan laporan ini terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta penutup.

3.3 Alat Pengujian

Adapun alat pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Solar Simulator*

Solar simulator berfungsi sebagai pengganti matahari yang digunakan selama penelitian didalam ruangan.



Gambar 9. Solar Simulator

2. *Solar Meter*

Solar meter digunakan untuk melihat intensitas radiasi yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 10. Solar Meter

3. *Termo Recorder*

Alat ukur suhu yang digunakan untuk mengukur dan mencatat kondisi lingkungan seperti mengetahui temperature suhu.



Gambar 11. Termo Recorder

4. Stopwatch

Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran durasi waktu yang diperlukan maupun yang sudah berlalu.

5. Sterofoam

Sterofoam sering digunakan insulin, bahan ini memang bisa menahan suhu. Sehingga, benda didalamnya tetap dingin atau hangat.

6. Blower



Gambar 12. Blower

3.4 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan Uji

Bahan uji dibuat dengan berbentuk persegi dengan bahan dasar berupa bata dan plester semen (pasir dan semen) dengan ukuran panjang sebesar 30 cm,

lebar 30 cm dan tebal 10 cm dan ditambah lapisan insulasi pada bagian samping.



Gambar 13. Dinding.

2. *Cat Waterproof*

Cat waterproof dipakai pada bagian luar sebagai pelapis dinding yang terkena radiasi.

3. *Cat Interior*

Cat interior dipakai pada bagian luar sebagai pelapis dinding yang terkena radiasi.

4. *Cat Eksterior*

Cat eksterior dipakai pada bagian luar sebagai pelapis dinding yang terkena radiasi.



Gambar 14. Cat.

3.5 Metode Pengujian

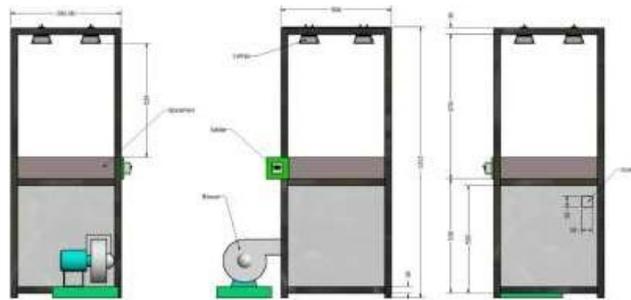
Metode dan Pelaksanaan Penelitian yang dilakukan melalui Urutan proses yang dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan nilai a dinding dengan mengacu pada tabel nilai a yang ada.
2. Untuk menentukan nilai transmitansi termal dinding yang tidak tembus cahaya (U_w), sebelumnya harus mengetahui dahulu resistansi termal total (R_{total}). Komponen R_{total} sendiri terdiri dari tebal bahan (t) dan nilai konduktivitas termal bahan (k).
3. Beda Temperatur ekuivalen (T_{dek}) ditentukan berdasarkan material yang paling dominan dalam suatu struktur dinding yang dihitung nilai yang didapat dikonversikan dengan tabel nilai T_{deq} yang ada.
4. Nilai koefisien peneduh sistem fenetrasi (SC) ditentukan berdasarkan keberadaan peneduh yang mempengaruhi sistem fenetrasi. Faktor radiasi sinar matahari (SF) ditentukan menurut orientasi yang terdapat pada tabel.
5. Setelah semua nilai diketahui maka nilai OTTV dihitung pada orientasi yang

ditentukan dapat diidentifikasi. Setelah itu barulah dapat dicari nilai OTTV keseluruhan selubung bangunan.

3.6 Metode Pengambilan Data

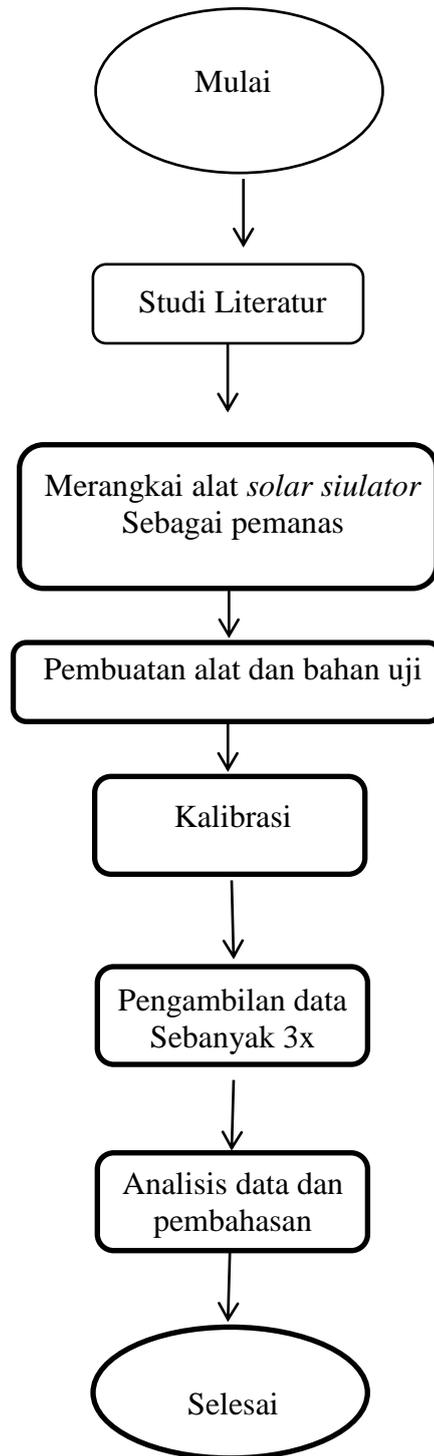
Dalam penelitian ini data yang akan dicari adalah perbedaan temperatur antara dua buah sisi bahan uji dinding yang dilapisi cat.



Gambar 15. Rangkaian alat pengujian

1. Mempersiapkan dan merangkai alat pengujian seperti pada gambar 13 rangkain alat pengujian.
2. Melakukan pengkalibrasian pada temperatur *recorder* dengan waktu perekaman temperatur perdetik.
3. Melakukan pengaturan pada *solar* meter dengan daya keluaran sebesar 1100 watt/m^2 .
4. Ketika rangkaian pengujian sudah siap, maka pengujian akan dilaksanakan dengan meletakkan bahan uji pada *solar simulator* yang sudah disiapkan dan memasang sensor temperatur recorder T_1 pada sisi antara elemen pemanas dengan dengan bahan uji serta sensor temperatur T_2 pada sisi lain nya.
5. Jika sudah terpasang maka *solar* meter akan dihidupkan selama 7200 detik (2 jam) dan memulai perekaman pada temperatur recorder.
6. Setelah data T_1 dan T_2 di dapat maka data akan di salin ke laptop untuk di simpan.
7. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk satu jenis cat.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 16. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian uji OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) dinding bangunan dengan menggunakan variasi cat yaitu ;

1. Perpindahan panas yang terjadi pada dinding dengan lapisan cat interior, eksterior dan *waterproof* dalam keadaan *steady*,
2. Laju perpindahan panas yang terjadi pada dinding dengan lapisan cat (interior, eksterior dan *waterproof*) tertinggi terjadi pada dinding dengan lapisan cat interior yaitu sebesar 16,87 Watt. Sedangkan terendah terjadi pada dinding dengan lapisan cat *waterproof* yaitu sebesar 14,783 Watt.
3. Nilai OTTV yang terjadi pada dinding dengan lapisan cat (interior, eksterior dan *waterproof*) yang mengarah ke 4 arah mata angin. Untuk arah utara, selatan, timur dan barat, nilai OTTV tertinggi terjadi pada dinding dengan lapisan cat interior dengan nilai 21,584 W/m², 21,596 W/m², 21,584 W/m² dan 21,584 W/m². Sedangkan nilai OTTV terendah terjadi pada dinding dengan lapisan cat *waterproof* dengan nilai 21,512 W/m², 21,526 W/m², 21,512 W/m² dan 21,512 W/m². Nilai OTTV dinding dengan lapisan cat (interior, eksterior dan *waterproof*) aman karena tidak lebih atau sama dengan 35 W/m².

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah ;

1. Metode yang serupa untuk penelitian di luar ruangan untuk menguji laju perpindahan panas pada dinding.
2. Melakukan pengujian OTTV di daerah lain.

3. Melakukan pengujian OTTV untuk sebulan dan setahun.

DAFTAR PUSTAKA