



**PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN
PERPINDAHAN PANAS RADIASI DENGAN VARIASI
MATERIAL SPESIMEN UJI**

SKRIPSI

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**oleh
Riwan Setiarso
5201410030**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2015**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Riwan Setiarso

NIM : 5201410030

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 19620913 199102 1 001

(Mel.....)

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd, M.Eng.
NIP. 19800319 200501 1 001

(Wahyudi.....)

Dewan Penguji

Pembimbing : Drs. Ramelan, M.T.
NIP. 19500915 197603 1 002

(Ramelan.....)

Penguji Utama I : Dr. M. Burhan Rubai W, M.Pd.
NIP. 19630213 198803 1 001

(Burhan.....)

Penguji Utama II : Widi Widayat, S.T., M.T.
NIP. 19740815 200003 1 001

(Widi.....)

Penguji Pendamping : Drs. Ramelan, M.T.
NIP. 19500915 197603 1 002

(Ramelan.....)

Ditetapkan di Semarang
Tanggal : 27 April 2015

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik



Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd.
NIP. 196602151991021001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Riwan Setiarso
NIM : 5201410030
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji”** ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, April 2015



Riwan Setiarso
5201410030

ABSTRAK

Riwan Setiarso. 2015. *Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji*. Skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Tujuan Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji, untuk mengetahui besar laju perpindahan panas secara radiasi dengan variasi material spesimen uji dan mengukur kelayakan media pembelajaran serta mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap media pembelajaran.

Metode yang digunakan penelitian pengembangan dengan desain penelitian *ADDIE* (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Bahan penelitian pengembangan adalah media pembelajaran perpindahan panas radiasi berupa alat peraga dan modul. Subjek penelitian adalah ahli media pembelajaran, ahli materi perpindahan panas dan mahasiswa mata kuliah perpindahan kalor dasar Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang menilai kelayakan media pembelajaran yang dikembangkan. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah observasi, angket dan dokumentasi. Hasil validasi para ahli dan tanggapan mahasiswa dianalisis dengan teknik persentase.

Hasil penelitian menunjukkan persentase kelayakan media pembelajaran yang dikembangkan menurut ahli media sebesar 97,42% kriteria “sangat baik”. Sedangkan menurut ahli materi perpindahan panas, persentase kelayakan media pembelajaran perpindahan panas radiasi yang dikembangkan sebesar 81,25% kriteria “sangat baik”. Hasil uji coba penggunaan terhadap mahasiswa mendapatkan persentase 84,11% kriteria “sangat baik”.

Disimpulkan bahwa media pembelajaran perpindahan panas radiasi yang dikembangkan dianggap layak. Disarankan kepada pengajar mata kuliah perpindahan panas untuk memanfaatkan media pembelajaran perpindahan panas radiasi yang dikembangkan pada pembelajaran mata kuliah perpindahan panas.

Kata kunci : media pembelajaran, alat peraga radiasi, material spesimen uji

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. “Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar” (Al-Baqarah: 153)
2. Bermimpilah, orang yang sukses adalah orang yang memiliki mimpi yang kuat dan tekad yang kuat pula.
3. Kebahagiaanku adalah membahagiakan orang yang ku sayang dengan cara apapun.
4. Bukan mengenai seberapa besar pengorbanan, seberapa cepat selesai, dan seberapa banyak yang dikeluarkan, tapi ini tentang memberikan semua kemampuan terbaik yang dimiliki.

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini untuk:

1. Bapak dan Ibu tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dorongan untuk selalu menjadi yang terbaik.
2. Adik-adikku yang selalu memberikan semangat yang baik bagiku.
3. Santi Yulaftri yang selalu menjadi inspirasi dan motivasi untuk terus maju dan berusaha.
4. Sahabat-sahabatku Arif, Kharis, Dul, Sigit, Amin, Ashfal, Gigih, Agus, dan Heri.
5. Teman-temanku tercinta di kos New Ruhul Jadid.
6. Keluarga mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin 2010 yang selalu solid.
7. Almamater Unnes yang selalu aku banggakan.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan skripsi dengan judul “Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji” dalam rangka menyelesaikan studi Strata Satu untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, motivasi dan bantuan semua pihak. Oleh karena itu dengan rendah hati disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini, antara lain:

1. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. M. Khumaedi, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Wahyudi, S.Pd., M.Eng., Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Drs. Ramelan, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Drs. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd., selaku penguji I yang telah memberikan banyak arahan, saran serta masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Widi Widayat, S.T., M.T., selaku penguji II yang telah memberikan banyak arahan, saran serta masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 angkatan 2010, yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, April 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah.....	2
C. Pembatasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah.....	3
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Kajian Teori.....	6
1. Media Pembelajaran	6
2. Kebutuhan Media Pembelajaran dalam Materi Perpindahan Panas Radiasi	8
3. Perpindahan Panas Radiasi	9
4. Sifat-sifat Radiasi.....	12
5. Emisivitas Benda	13
6. Laju Perpindahan Panas secara Radiasi	14
7. Spesimen Uji Aluminium, Kuningan, dan <i>Stainless Steel</i>	16
8. Jenis Material Benda terhadap Besar Nilai Emisivitas.....	18
B. Kajian Penelitian yang Relevan	18

C. Kerangka Pikir Penelitian.....	19
D. Pertanyaan Penelitian.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Bahan Penelitian	22
B. Instrumen Penelitian	23
1. Instrumen Validasi untuk Ahli Media Pembelajaran	24
2. Instrumen Validasi untuk Ahli Materi Perpindahan Panas	25
3. Angket Tanggapan Mahasiswa terhadap Penggunaan Media Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi.....	26
C. Prosedur Penelitian	27
1. Jenis Penelitian.....	27
2. Diagram Alir Penelitian	28
3. Prosedur dan Desain Penelitian.....	29
D. Data Penelitian	36
1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
2. Subjek Penelitian.....	37
E. Analisis Data	37
1. Metode Pengumpulan Data	37
2. Analisis Data Keberhasilan Media Pembelajaran.....	39
BAB IV HASIL PENELITIAN	
A. Hasil Penelitian	42
1. Pengujian Alat Peraga dengan Menghitung Laju Perpindahan Panas dari Masing–Masing Spesimen Uji.....	42
2. Hasil Validasi Modul dan Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Spesimen Uji	45
a. Hasil Validasi Ahli Media Pembelajaran.....	45
b. Hasil Validasi Ahli Materi Perpindahan Panas.....	51
c. Hasil Tanggapan Mahasiswa terhadap Penggunaan Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi pada Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar	57

d. Rekapitulasi Analisis Validasi dan Tanggapan Mahasiswa terhadap Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi	60
B. Pembahasan	61
C. Keterbatasan Penelitian	63
BAB V PENUTUP	
A. Simpulan.....	65
B. Saran Pemanfaatan Hasil Penelitian	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Spektrum elektromagnetik	11
Gambar 2. Bagan menunjukkan pengaruh radiasi datang.....	13
Gambar 3. Faktor Geometris untuk Piringan Sejajar (<i>parallel disc</i>)	16
Gambar 4. Alur penelitian.....	28
Gambar 5. Skema alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji	32
Gambar 6. Grafik kenaikan suhu penerima pancaran radiasi dengan variasi spesimen uji (aluminium, kuningan, dan <i>stainless steel</i>)	43
Gambar 7. Besar laju perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji (aluminium, kuningan, dan <i>stainless steel</i>).....	44
Gambar 8. Grafik rerata persentase perolehan uji validasi dan tanggapan mahasiswa	61
Gambar 9. Rancangan Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel Harga Emisivitas Normal pada tiap–tiap Nilai Temperatur untuk Masing–Masing Material yang Diuji	18
Tabel 2. Isi materi modul perpindahan panas secara radiasi.....	22
Tabel 3. Komponen alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji	22
Tabel 4. Garis besar instrumen validasi ahli media pembelajaran untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi.....	24
Tabel 5. Garis besar instrumen validasi ahli media pembelajaran berupa modul perpindahan panas secara radiasi	25
Tabel 6. Garis besar instrumen validasi ahli materi perpindahan panas untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi.....	25
Tabel 7. Garis besar instrumen validasi ahli materi perpindahan panas untuk modul perpindahan panas secara radiasi	26
Tabel 8. Garis besar instrumen angket tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi untuk modul perpindahan panas secara radiasi.....	27
Tabel 9. Garis besar instrumen angket tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi	27
Tabel 10. Kekurangan dan bentuk perbaikan alat peraga perpindahan panas secara radiasi	34
Tabel 11. Subjek penelitian.....	37
Tabel 12. Interval rerata skor dan kriteria untuk penilaian tiap aspek.....	40
Tabel 13. <i>Range</i> persentase dan kriteria kualitatif	41
Tabel 14. Rata-rata Suhu Penerima Panas	42
Tabel 15. Laju perpindahan panas secara radiasi.....	44
Tabel 16. Validator Ahli Media Pembelajaran untuk Validasi Modul	45

Tabel 17. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli media pembelajaran	46
Tabel 18. Validator ahli media pembelajaran untuk validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi.....	47
Tabel 19. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli media pembelajaran	48
Tabel 20. Validator ahli materi perpindahan panas untuk validasi modul.....	51
Tabel 21. Hasil validasi modul perpindahan panas secara radiasi untuk ahli materi perpindahan panas.....	52
Tabel 22. Validator ahli materi perpindahan panas untuk validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi	54
Tabel 23. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli materi perpindahan panas.....	54
Tabel 24. Skor perolehan tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan modul sebagai media pembelajaran	58
Tabel 25. Skor perolehan tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran .	58
Tabel 26. Rekapitulasi analisis hasil validasi dan tanggapan mahasiswa terhadap media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi	70
Lampiran 2. Analisis Perhitungan Laju Perpindahan Panas Radiasi pada Pengujian Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji	85
Lampiran 3. Rerata Hasil Besar Laju Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji	96
Lampiran 4. Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)	99
Lampiran 5. Modul Perpindahan Panas Radiasi	107
Lampiran 6. Buku Manual Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi dengan Perisai Dinding Imajiner	135
Lampiran 7. Data Subjek Penelitian untuk Uji Coba Penggunaan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi.....	162
Lampiran 8. Dokumentasi	166

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Proses pembelajaran merupakan suatu proses yang mengandung serangkaian pelaksanaan oleh pengajar dan subjek belajar atas dasar hubungan timbal balik yang berlangsung dalam situasi edukatif untuk mencapai tujuan tertentu.

Interaksi atau hubungan timbal balik ini merupakan syarat utama bagi berlangsungnya proses pembelajaran yang efektif. Guna mencapai kriteria pembelajaran yang efektif, ada beberapa hal yang perlu diubah atau ditambah. Salah satunya dengan menggunakan media pembelajaran. Pengajar tidak hanya dapat merumuskan kegiatan belajar mengajar, mengelola kelas, atau metode pembelajaran, akan tetapi dituntut untuk dapat memilih dan menerapkan media yang sesuai dengan materi yang akan disampaikan dengan tujuan yang ingin dicapai (Wicaksono, dkk, 2012:51). Dale dalam Arsyad (2011:10), menegaskan bahwa perolehan hasil belajar seseorang melalui indera pandang berkisar 75%, melalui indera dengar sekitar 13%, dan melalui indera lainnya sekitar 12%. Hal ini menjelaskan bahwa dengan adanya media dalam pembelajaran, persentase pemahaman seseorang terhadap materi yang dipelajari lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan media pembelajaran.

Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang merupakan salah satu jurusan yang terdapat mata kuliah Perpindahan Panas. Mata kuliah Perpindahan Panas memiliki bobot 2 sks dan wajib diikuti oleh semua mahasiswa jurusan

Teknik Mesin. Menurut pengalaman peneliti selama mengikuti mata kuliah Perpindahan Panas, penyampaian materi perpindahan panas radiasi masih terbatas hanya pada pengenalan dan perhitungan-perhitungan dasar. Penyampaian materi, pengajar lebih banyak menggunakan media papan tulis, LCD proyektor untuk presentasi, serta tanpa didukung dengan alat peraga pendidikan. Karena di Jurusan Teknik Mesin memang belum tersedia alat peraga perpindahan panas yang dapat membantu pemahaman kepada peserta didik.

Pengembangan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dirasa perlu untuk menunjang proses perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Membuat media pembelajaran yang efektif dan efisien memerlukan validasi dari berbagai ahli agar alat tersebut layak digunakan sebagai media pembelajaran. Oleh karena itu, penulis akan mengadakan penelitian dengan judul “Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji”. Diharapkan dengan adanya media pembelajaran perpindahan panas radiasi tersebut dapat digunakan untuk menunjang proses perkuliahan dalam rangka pengembangan mata kuliah perpindahan panas.

B. Identifikasi Masalah

Beberapa masalah terkait dengan pengembangan media pembelajaran perpindahan panas radiasi untuk penggunaannya pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Mata kuliah Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang masih terbatas dalam penyampaian materi berupa pengenalan dan

perhitungan, teori yang bersifat abstrak tanpa adanya pendukung berupa alat peraga pendidikan.

2. Tidak ada media pembelajaran yang dapat menunjukkan fenomena dasar perpindahan panas yang mendorong mahasiswa untuk dapat menguasai materi perpindahan panas.
3. Materi perpindahan panas secara radiasi yang kompleks menuntut pengajar untuk mengembangkan bentuk-bentuk media pembelajaran untuk memudahkan mahasiswa dalam memahami materi perpindahan panas radiasi.

C. Pembatasan Masalah

1. Alat peraga ini hanya mensimulasikan terjadinya perpindahan panas radiasi berupa dampak kenaikan suhu pada spesimen yang diuji.
2. Pengujian media pembelajaran yang dibuat hanya meliputi pengujian kelayakan alat peraga perpindahan panas radiasi, dan tidak diuji pengaruhnya terhadap hasil belajar mahasiswa.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengembangan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji?
2. Bagaimana kelayakan pengembangan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi dengan variasi material spesimen uji?

3. Bagaimana tanggapan mahasiswa sebagai calon pengguna terhadap media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji berupa alat peraga dan modul.
2. Mengetahui kelayakan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji.
3. Mengetahui tanggapan mahasiswa sebagai calon pengguna terhadap media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat Teoritis

Bentuk sumbangan positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dalam rangka mensukseskan proses kegiatan belajar mengajar. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi pihak yang membutuhkan.

2. Manfaat Praktis

Manfaat untuk universitas hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar Jurusan

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Sedangkan untuk penulis, untuk menambah wawasan tentang media pembelajaran, khususnya media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji pada Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar. Selain itu, untuk akademisi dapat bermanfaat untuk menunjang kinerja dosen dan mahasiswa dalam memahami perpindahan panas radiasi pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar. Serta untuk memotivasi mahasiswa terhadap pemahaman materi perpindahan panas radiasi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Media Pembelajaran

Media pembelajaran adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan (bahan pembelajaran), sehingga dapat merangsang perhatian, minat, pikiran, dan perasaan siswa dalam kegiatan belajar untuk mencapai tujuan belajar (Amin dan Arsana, 2014: 48). Menurut Latuheru (1988: 14) media pembelajaran adalah semua alat (bantu) atau benda yang digunakan dalam kegiatan belajar-mengajar, dengan maksud untuk menyampaikan pesan (informasi) pembelajaran dari sumber (guru maupun sumber lain) kepada penerima (dalam hal ini anak didik atau warga belajar). Sedangkan Arsyad (2011: 4) menyatakan bahwa media pembelajaran adalah media yang membawa pesan-pesan atau informasi yang bertujuan instruksional atau mengandung maksud-maksud pengajaran. Pendapat-pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran adalah sebuah alat bantu yang digunakan untuk menciptakan komunikasi dan interaksi timbal balik antara pengajar dengan subjek belajar di dalam proses belajar mengajar serta dapat merangsang perhatian, minat, pikiran, dan perasaan siswa dalam kegiatan belajar untuk mencapai tujuan belajar.

Beberapa macam media yang digunakan dalam pembelajaran misalnya benda nyata atau model; teks tercetak berupa buku, *handout*, modul, lembar kerja; visual tercetak berupa gambar, foto, diagram, grafik; audio berupa *tape*, piringan, suara; serta video dan internet. Berbagai macam media pembelajaran di atas digunakan agar semua indra penglihatan, pendengaran, sentuhan, dan rasa terlibat

dalam pembelajaran sehingga proses pembelajaran dapat lebih bermakna dan memberikan pengalaman dalam belajar. Dampaknya berupa pengetahuan yang disampaikan dapat diterima oleh mahasiswa dengan mudah.

Pengembangan media pembelajaran hendaknya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengajaran. Lebih jelasnya, Umar (2013: 132) menjelaskan beberapa peranan media pembelajaran dalam kegiatan belajar mengajar, di antaranya sebagai berikut:

- 1) Memperjelas penyajian informasi sehingga dapat memperlancar dan meningkatkan proses dan hasil belajar.
- 2) Meningkatkan dan mengarahkan perhatian, sehingga dapat menimbulkan motivasi dalam belajar.
- 3) Mengatasi keterbatasan indera, ruang, dan waktu dalam mempelajari dan memahami materi melalui berbagai bentuk media pembelajaran.
- 4) Memberikan kesamaan pengalaman tentang peristiwa-peristiwa di lingkungan yang sesuai dengan pemahaman materi.

Perpindahan panas merupakan cabang ilmu yang mempelajari proses penukaran panas yang terjadi di antara dua sistem yang memiliki perbedaan suhu. Proses penukaran panas yang terjadi, tidak dapat dilihat dan diamati secara kasat mata. Hal ini, menyulitkan dalam pembuktian bahwa adanya penukaran panas yang terjadi di antara dua sistem. Namun, hal tersebut dapat dirasakan melalui dampak yang terjadi berupa perubahan tingkat suhu pada salah satu sistem. Dampak kenaikan suhu tersebut yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan media pembelajaran perpindahan panas utamanya materi tentang radiasi. Sehingga dapat membuktikan adanya fenomena perpindahan panas yang

terjadi berupa dampak kenaikan suhu. Media pembelajaran perpindahan panas radiasi juga dapat dapat menunjukkan fenomena perpindahan panas radiasi secara langsung yang dapat memberikan kesan sehingga dapat memberikan pengalaman belajar yang mendalam.

2. Kebutuhan Media Pembelajaran dalam Materi Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan Panas merupakan mata kuliah yang dinilai kompleks dan membutuhkan pemahaman yang mendalam. Melalui pengalaman penulis tentang mata kuliah Perpindahan Panas di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Pemahaman materi Perpindahan Panas utamanya radiasi panas masih menggunakan teori-teori dan perhitungannya dalam penjelasannya. Selain itu, media yang digunakan dalam pengajaran masih terbatas menggunakan papan tulis dan LCD. Keberadaan alat bantu ajar berupa alat peraga perpindahan panas radiasi akan sangat membantu pemahaman materi.

Media pembelajaran berupa alat peraga ini sangat dibutuhkan guna menunjukkan fenomena radiasi panas yang terjadi, sehingga mahasiswa dapat dengan mudah menerima informasi-informasi yang ditampilkan oleh alat peraga yang ditangkap secara langsung melalui berbagai indera. Hal ini yang dapat memberikan kesan yang mendalam dan pengalaman belajar yang baik. Bentuk informasi dan penyajian yang dimunculkan oleh penulis dalam alat peraga berupa kenaikan suhu di antara dua medium benda sebagai bukti terjadinya perpindahan panas radiasi. Satu benda sebagai pemancar panas dan yang lain sebagai penerima panas. Fenomena perpindahan panas radiasi dapat dilihat melalui kenaikan suhu pada benda yang menerima panas dari pancaran radiasi benda pemancar panas.

Modul digunakan sebagai bahan penunjang dan panduan penggunaan alat peraga perpindahan panas agar mahasiswa dapat mempelajari secara mandiri dan langsung. Adanya modul, juga dapat memberikan latihan kepada mahasiswa untuk meneliti kenaikan suhu yang terjadi pada alat peraga dengan variasi material spesimen uji dan menghitung besar laju perpindahan panas radiasi pada material spesimen uji.

3. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas disebut juga *heat transfer* merupakan salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik. Bila dalam suatu sistem terdapat perbedaan suhu, atau bila dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan, maka akan terjadi perpindahan energi yang disebut juga sebagai perpindahan panas (Kreith, 1991:1). Perpindahan panas merupakan pembuktian dari hukum termodinamika yang pertama tentang energi yang tidak dapat diciptakan maupun dihilangkan. Energi hanya dapat dipindahkan dan berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Bentuk perpindahan panas ada tiga macam, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

Koestoer (2002: 183) menyatakan bahwa radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnet atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Radiasi dalam perpindahan panas atau radiasi termal (*thermal radiation*) hanya salah satu bentuk dari jenis radiasi elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berpindah dengan cara pancaran melalui gelombang elektromagnet. Radiasi selalu merambat dengan kecepatan cahaya 3×10^{10} cm/s.

Kecepatan ini sama dengan hasil perkalian panjang-gelombang dengan frekuensi radiasi,

$$c = \lambda\nu \quad (1)$$

Di mana c = kecepatan cahaya (m/s)
 λ = panjang gelombang (μm)
 ν = frekuensi (Hz)

Perambatan radiasi ini berlangsung dalam bentuk bagian-bagian energi yang tidak dapat dibagi lagi, dengan setiap bagian mengandung energi sebesar,

$$E = h\nu \quad (2)$$

Di mana E = Energi (J)
 h = Konstanta Planck ($J.s$)
 ν = frekuensi (Hz)

di mana h ialah konstanta Planck yang memiliki nilai

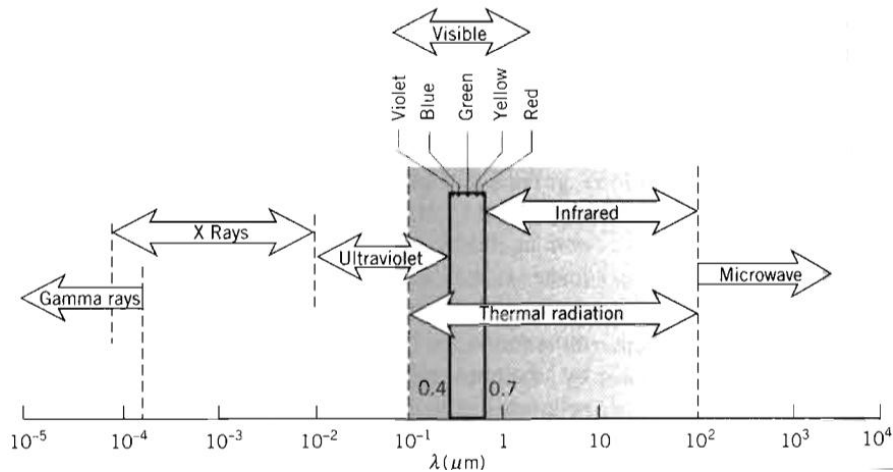
$$h = 6,625 \times 10^{-34} J.s$$

Setiap bagian tersebut dapat dianggap sebagai suatu partikel yang mempunyai energi, massa, dan momentum, seperti halnya molekul gas. Jadi, pada hakekatnya, radiasi dapat digambarkan sebagai gas foton (*photon gas*) yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Jika dipandang secara relatif antara massa dan energi, dapat diturunkan persamaan untuk massa energi partikel itu yaitu,

$$E = mc^2 = h\nu$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

$$\text{momentum} = c \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h\nu}{c}$$



Gambar 1. Spektrum elektromagnetik
Sumber : (Incropera dan De Witt, 1990: 698)

Menurut Holman (1995: 342), dengan menganggap radiasi demikian suatu gas, maka dapat kita terapkan prinsip termodinamika statistik-kuantum untuk menurunkan persamaan densitas energi radiasi per satuan volume dan per satuan panjang-gelombang sebagai:

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Notasi k ialah konstanta Boltzmann, $1,38066 \times 10^{-23}$ J/mol.K. Holman (1995: 342) menyatakan bila densitas energi diintegrasikan sepanjang seluruh panjang gelombang, maka energi total yang dipancarkan sebanding dengan pangkat empat suhu absolut:

$$E_b = \sigma T^4 \quad (3)$$

Di mana E_b = Energi radiator ideal (black body) (W/m^2)
 σ = Konstanta Stefan-Boltzmann ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)
 T = Suhu ($^{\circ}\text{K}$)

Persamaan di atas disebut hukum Stefan-Boltzmann, E_b ialah energi yang diradiasikan per satuan waktu dan per satuan luas radiator ideal, dan σ ialah konstanta Stefan-Boltzmann, yang nilainya

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 [0,1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4]$$

Subskrip b dalam persamaan (3) menandakan radiasi pada benda hitam sebagai radiator ideal. Karena bahan yang mampu digunakan di dalam hukum tersebut, adalah benda yang tampak hitam secara visual maupun termal. Holman (1995: 343) menegaskan, bahwa sifat ‘kehitaman’ (*blackness*) permukaan terhadap radiasi termal mungkin menyesatkan sejauh hal itu mengenai pengamatan visual. Maka, benda yang secara termal memiliki sifat ‘kehitaman’ tidak sepenuhnya berwarna hitam juga di penglihatan mata kita. Sebagai contoh, permukaan sebuah logam yang dilapisi jelaga tampak berwarna hitam, ternyata juga bersifat ‘hitam’ bagi spektrum radiasi termal. Sedangkan, bunga salju dan es tampak berwarna terang untuk penglihatan kita, tapi juga bersifat ‘hitam’ untuk radiasi termal.

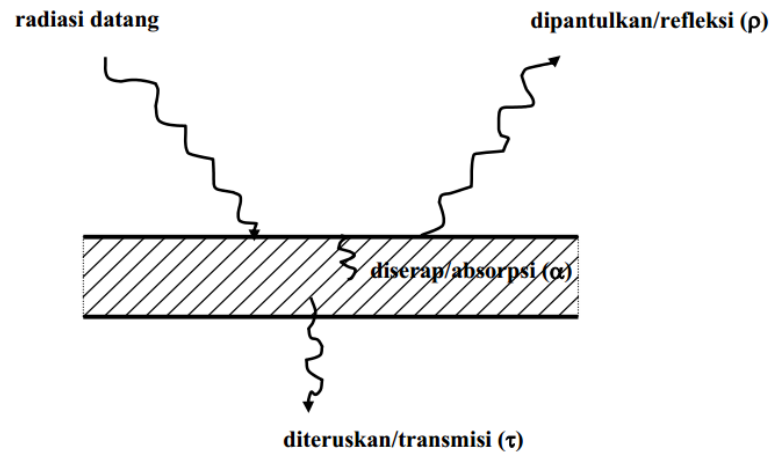
4. Sifat-Sifat Radiasi

Holman (1995: 343) menyatakan, bila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi), dan sebagian lagi diteruskan (transmisi). Sebagai penggambaran, bagian yang dipantulkan dinamakan reflektivitas ρ , bagian yang diserap absorptivitas α , dan bagian yang diteruskan transimisivitas τ , maka,

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Kebanyakan benda padat tidak meneruskan radiasi termal, sehingga transmisivitas dapat dianggap nol. Sehingga,

$$\rho + \alpha = 1$$



Gambar 2. Bagan menunjukkan pengaruh radiasi datang
Sumber : (Holman,1995: 343)

5. Emisivitas Benda

Daya emisi (*emissive power*) E suatu benda ialah energi yang dipancarkan benda itu per satuan luas per satuan waktu. Benda hitam merupakan benda yang memiliki nilai emisivitas= 1. Karena, benda hitam merupakan benda yang paling ideal untuk menyerap dan memancarkan panas (radiator ideal).

$$\epsilon = \alpha = 1 \quad (4)$$

Dengan ϵ = emisivitas
 α = absorptivitas

Sedangkan untuk benda nyata, berlaku identitas Kirchhoff (*Kirchhoff's Identity*) dimana perbandingan daya emisi suatu benda nyata dengan daya emisi benda hitam pada suhu yang sama ialah sama dengan absorptivitas benda nyata. Perbandingan tersebut juga disebut dengan emisivitas benda (ϵ),

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} \quad (5)$$

Dengan ϵ = emisivitas
 E = daya emisi benda
 E_b = daya emisi benda hitam

Emisivitas dan absorptivitas yang telah dibahas merupakan sifat-sifat total benda itu, artinya semua tingkah laku bahan itu untuk keseluruhan panjang gelombang. Benda-benda nyata memancarkan radiasi lebih sedikit dari permukaan hitam sempurna, diukur dari emisivitas bahan. Dimana nilai emisivitas bahan diukur menurut suhu dan panjang gelombang radiasi.

6. Laju Perpindahan Panas secara Radiasi

Pembahasan sebelumnya menunjukkan bahwa radiator ideal atau benda hitam, memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

$$q_{pancaran} = \sigma AT^4$$

Notasi σ ialah konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Persamaan di atas disebut hukum Stefan-Boltzmann tentang radiasi termal yang berlaku hanya untuk benda hitam dan hanya berlaku untuk radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam. Sedangkan untuk pertukaran radiasi netto antara dua permukaan, berbanding dengan perbedaan suhu absolut pangkat empat. Maka,

$$\frac{q_{pertukaran \text{ netto}}}{A} \propto \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Telah dijelaskan sebelumnya, bahwa benda hitam ialah benda yang memancarkan energi menurut hukum T^4 . Benda itu disebut “hitam”, karena permukaannya yang hitam, seperti logam yang dilapisi dengan jelaga mempunyai tingkah laku yang hampir seperti itu. Permukaan jenis lain yang dicat mengkilap

atau plat logam yang dipoles tidak memancarkan energi sebanyak benda hitam, akan tetapi jumlah radiasi yang dipancarkan benda-benda itu masih mengikuti suhu absolut pangkat empat (T_1^4).

Holman (1995: 13) menyatakan guna memperhitungkan sifat permukaan benda kelabu, perlu menampilkan suatu faktor lain ke dalam persamaan Stefan-Boltzmann, yang disebut emisivitas atau kepancaran (*emissivity*) yang menghubungkan sinar dari permukaan kelabu dengan permukaan yang hitam sempurna. Selain itu, perlu diperhitungkan juga bahwa radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan. Sehingga, untuk memperhitungkan kedua situasi itu kita masukkan dua faktor lain ke dalam persamaan Stefan-Boltzmann (Holman,1995: 13),

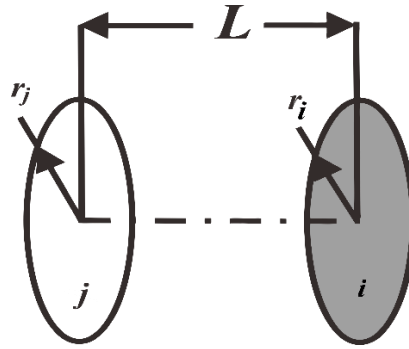
$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (6)$$

Dengan

- q = laju pancaran energi radiasi benda (*Watt*)
- F_{ϵ} = faktor emisivitas bahan
- F_G = faktor geometri
- σ = konstanta Stefan-Boltzmann
- A = luas permukaan pancaran (m^2)
- T_1 = suhu mutlak pancaran spesimen uji ($^{\circ}K$)
- T_2 = suhu mutlak pancaran benda hitam ($^{\circ}K$)

di mana F_{ϵ} adalah fungsi emisivitas dan F_G fungsi faktor pandangan (*view factor*) geometrik. Fungsi-fungsi ini saling bergantung satu sama lain.

Faktor geometris ini diambil dari bidang benda yang memancarkan radiasi panas. Bidang yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk plat lingkaran (*disc*) yang disusun sejajar,



Gambar 3. Faktor geometris untuk piringan sejajar (*parallel disc*)

Sumber : (Incropera dan De Witt, 1990: 798)

$$R_i = r_i/L \text{ dan } R_j = r_j/L$$

$$S = 1 + \frac{1 + R_j^2}{R_i^2}$$

$$F_{ij} = \frac{1}{2} \left\{ S - \left[S^2 - 4 \left(\frac{r_j}{r_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

Rumus di atas adalah mencari faktor geometris bentuk bidang plat lingkaran dengan jari-jari yang berbeda. Penelitian ini menggunakan bidang plat lingkaran dengan besar jari-jari (r) yang sama.

Jika, $r_i = r_j$ maka,

$$r_i = r_j = r \rightarrow R = \frac{r}{L}$$

Sehingga,

$$F_{ij} \rightarrow F_{ji} = 1 + \frac{1 - \sqrt{4R^2 + 1}}{2R^2} \quad (7)$$

Dengan, F_{ij} = faktor geometris dari plat lingkaran i ke plat lingkaran j

F_{ji} = faktor geometris dari plat lingkaran j ke plat lingkaran i

R = perbandingan jari – jari plat lingkaran terhadap jarak

7. Spesimen Uji Aluminium, Kuningan, dan *Stainless Steel*

Dalam penelitian ini, bentuk variasi terdapat pada material spesimen uji.

Material spesimen uji yang digunakan adalah aluminium, kuningan, dan *stainless*

steel. Ketiga material ini dipakai sebagai spesimen uji, karena penggunaannya yang sering kita temui pada kehidupan sehari-hari.

a. Aluminium

Aluminium termasuk logam ringan dengan ketahanan korosi baik dan memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya, aluminium diberi penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb., secara satu persatu atau bersama-sama. Selain itu, memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah, dsb. (Surdia dan Saito, 1992: 129). Material ini sering dijumpai pada peralatan rumah tangga berupa panci, wajan dan lain sebagainya. Selain itu, dibidang teknik material ini digunakan sebagai keperluan material pembuat pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan konstruksi yang lain.

b. Kuningan

Kuningan merupakan logam paduan antara tembaga (Cu) 60% hingga 70% dengan unsur seng (Zn) 40% sampai dengan 30%. Kuningan memiliki sifat mampu bentuk, mampu mesin yang baik dan harganya relatif murah sehingga banyak digunakan diberbagai produk seperti peralatan listrik, transfer panas, bahan pipa, dan pensuplai air (Rochman, 2006: 54).

c. *Stainless Steel*

Stainless steel atau disebut juga dengan baja tahan karat adalah baja paduan yang memanfaatkan keefektifan unsur paduan berupa Cr dan Ni yang dapat dibagi menjadi sistim Fe-Cr dan Fe-Cr-Ni (Surdia dan Saito, 1992: 101). Material ini sering digunakan pada peralatan memasak dan konstruksi bangunan serta berbagai perkakas.

8. Jenis Material Benda terhadap Besar Nilai Emisivitas

Kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan oleh Koestoer tentang emisivitas terdapat pada buku Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik, menunjukkan bahwa adanya perbedaan nilai emisivitas pada masing-masing material. Hal ini ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Tabel harga Emisivitas Normal pada tiap – tiap Nilai Temperatur untuk Masing–Masing Material yang Diuji (Koestoer, 2002: 286)

Temperatur (°K)	Stainless Steel	Seng	Kuningan	Aluminium	Tembaga
398	0,227	0,1766	0,115	0,071	0,042
423	0,230	0,1401	0,097	0,073	0,044
473	0,211	0,1627	0,074	0,075	0,048
523	0,201	0,1422	0,075	0,078	0,056
573	0,209	0,1698	0,081	0,080	0,060
623	0,218	0,1790	0,070	0,083	0,060
673	0,202	0,1820	0,067	0,086	0,064
698	0,213	0,1896	0,061	0,087	0,066

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa adanya perbedaan tingkat emisivitas pada masing-masing material. Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa adanya hubungan antara tingkat emisivitas benda dengan temperatur. Material seng, aluminium, dan tembaga nilai emisivitas memiliki gradien positif terhadap kenaikan suhu. Sedangkan untuk material *stainless steel* dan kuningan memiliki nilai emisivitas gradien negatif terhadap kenaikan suhu.

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Media pembelajaran untuk membantu peserta didik dalam memahami suatu materi telah banyak dibuat dalam penelitian terdahulu. Pemahaman peserta didik tentang materi pembelajaran akan terbantu apabila adanya suatu alat peraga pendidikan yang mampu menunjukkan secara langsung fenomena yang terjadi. Hal tersebut ditegaskan dalam penelitian Wicaksono, dkk (2013: 38-39) menyatakan bahwa alat peraga merupakan salah satu media visual yang dapat

didefinisikan sebagai alat bantu untuk mendidik atau mengajar, agar materi yang diajarkan oleh guru mudah dipahami oleh siswa. Setiawan, dkk (2009: 22) juga mengemukakan dalam penyampaian sebuah materi akan lebih baik dengan menggunakan panel peraga dan dikaitkan dengan kehidupan nyata, apalagi dalam bidang teknik. Media pembelajaran telah menjadi sesuatu yang penting berkaitan dengan kemudahan pemahaman peserta didik mengenai materi yang diajarkan.

Salah satu hasil penelitian tes ketuntasan hasil belajar tentang penggunaan media pembelajaran perpindahan panas berupa modul mengemukakan bahwa dari uji coba kelas terbatas sebanyak 10 mahasiswa setelah menggunakan modul pembelajaran perpindahan panas diperoleh ketuntasan belajar 100% dengan nilai terendah 83 dan nilai tertinggi 90 (Huda dan Arsana 2013: 22). Selain itu penelitian lain yang menggunakan media pembelajaran perpindahan panas terjadi peningkatan pemahaman siswa dengan nilai pre test sebesar 63 dan nilai rata-rata post test sebesar 81,65 (Viajayani, dkk. 2013: 154).

Dari beberapa penelitian di atas dapat diamati bahwa keberadaan media pembelajaran perpindahan panas dapat meningkatkan hasil belajar dan dapat membantu pemahaman mahasiswa mengenai materi perpindahan panas.

C. Kerangka Pikir Penelitian

Memahami konsep perpindahan panas secara radiasi tidak bisa didasarkan pada hal yang hanya bersifat teoritis. Untuk memahami konsep perpindahan panas secara radiasi perlu langsung diaplikasikan pada kondisi sebenarnya yang ada di lapangan, sehingga membutuhkan objek peraga tiruan yang sederhana. Karena pernyataan tersebut perlu adanya peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas.

Media pembelajaran yang dibuat peneliti merupakan masukan dari dosen dan ahli media pembelajaran. Hasil masukan tersebut kemudian akan digunakan untuk perbaikan alat peraga untuk mendapatkan validasi dari ahli media pembelajaran dan ahli materi. Selain itu, untuk memberikan keyakinan bahwa peraga perpindahan panas secara radiasi tersebut layak digunakan sebagai media pembelajaran serta dapat memberikan kemudahan baik untuk dosen sebagai fasilitator dan mahasiswa sebagai pengguna. Kelayakan dari peraga tersebut sebagai media pembelajaran didapatkan melalui serangkaian prosedur uji coba dan perbaikan.

Pada proses uji coba alat peraga, peneliti akan melakukan pengujian laju perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji yang membuktikan bahwa adanya perbedaan besar laju perpindahan panas. Setelah mendapatkan validasi dari ahli media pembelajaran dan ahli materi perpindahah panas, media pembelajaran yang dibuat diterapkan langsung pada pembelajaran mata kuliah perpindahan kalor dasar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Selanjutnya, mahasiswa yang mengikuti mata kuliah tersebut diminta kesediaannya untuk memberikan tanggapan dengan cara mengisi angket yang berkaitan dengan penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji. Hasil dari proses validasi dan tanggapan mahasiswa terhadap media pembelajaran tersebut kemudian dianalisis dan ditarik suatu kesimpulan.

D. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengembangan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dengan variasi material spesimen uji pada mata kuliah perpindahan kalor dasar?
2. Bagaimana kelayakan alat peraga perpindahan panas radiasi dan modul ditinjau dari sisi kelayakan media pembelajaran?
3. Bagaimana kelayakan alat peraga perpindahan panas radiasi dan modul ditinjau dari sisi kelayakan materi perpindahan panas?
4. Bagaimana tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas radiasi pada mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar?

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa media pembelajaran perpindahan panas yang terdiri dari modul perpindahan panas secara radiasi dan alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji. Modul perpindahan panas secara radiasi memiliki beberapa bahasan materi berupa pengertian radiasi, sifat-sifat radiasi, emisivitas benda, laju perpindahan panas radiasi, dan faktor geometris (F_G).

Tabel 2. Isi materi modul perpindahan panas secara radiasi

No.	Kompetensi Dasar	Materi Belajar
1.	Memahami proses perpindahan panas secara radiasi beserta perhitungannya	a. Pengertian radiasi b. Sifat-sifat radiasi c. Radiasi benda hitam d. Emisivitas Benda e. Hukum Stefan-Boltzman f. Perhitungan laju perpindahan panas radiasi

Isi materi berupa kompetensi dasar dan materi belajar di atas merupakan pengembangan dari silabus Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji terdiri dari berbagai komponen sebagai berikut:

Tabel 3. Komponen alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji

No.	Nama Komponen	Fungsi
1	<i>Heater</i>	Sebagai sumber panas yang kemudian disalurkan ke benda kerja untuk dipancarkan panasnya menuju benda hitam
2	Spesimen Uji	Sebagai bahan uji yang akan memancarkan radiasi panasnya menuju benda hitam. Material yang digunakan aluminium, kuningan, dan <i>stainless steel</i>

No.	Nama Komponen	Fungsi
3	Benda Hitam	Sebagai bahan penerima besar pancaran panas yang dipancarkan oleh spesimen uji. Perlu diketahui bahwa benda hitam yang dimaksud pada penelitian ini merupakan tiruan benda hitam yang dibuat dari logam aluminium yang dicat dengan warna hitam <i>doff</i>
4	<i>Thermocouple 1</i>	Sebagai pembaca suhu dari spesimen uji sehingga, <i>temperature controller</i> dapat membatasi besar suhu yang dihasilkan oleh <i>heater</i>
5	<i>Thermocouple 2</i>	Sebagai pembaca suhu pada benda hitam sehingga, dapat diketahui besar suhu yang dipancarkan oleh spesimen uji dan ditampilkan pada <i>temperature display</i>
6	<i>Display 1 (Temperature Controller)</i>	Sebagai penampil besar suhu dari spesimen uji dan mengatur suhu <i>heater</i> sesuai dengan kebutuhan pengukuran
7	<i>Display 2 (Temperature Display)</i>	Sebagai penampil besar suhu dari benda hitam
8	Sumber Listrik	Sebagai sumber arus guna menghidupkan alat peraga perpindahan panas secara radiasi
9	<i>Box Kaca</i>	Sebagai penahan panas yang keluar dari konstruksi <i>heater</i> dan mengurangi kehilangan panas pada sistem
10	Meja Pengatur Sudut	Sebagai pengatur sudut penerimaan pancaran panas benda hitam terhadap pancaran panas dari spesimen uji
11	Meja Pengatur Jarak	Sebagai pengatur jarak penerimaan pancaran panas benda hitam terhadap pancaran panas dari spesimen uji
12	Pemegang Spesimen Uji	Sebagai tempat penahan spesimen uji

B. Instrumen Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan yang memerlukan instrumen berupa instrumen validasi media pembelajaran, validasi materi perpindahan panas dan angket tanggapan mahasiswa.

Instrumen validasi media pembelajaran ada 2 jenis, yaitu instrumen validasi untuk ahli media pembelajaran dan instrumen validasi untuk ahli materi.

1. Instrumen Validasi untuk Ahli Media Pembelajaran

Instrumen validasi untuk ahli media pembelajaran terdiri dari beberapa butir soal yang sifatnya tertutup. Instrumen untuk ahli media pembelajaran ditujukan memberikan validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan spesimen uji dan modul peraga perpindahan panas secara radiasi.

Tabel 4. Garis besar instrumen validasi ahli media pembelajaran untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Pemanas (<i>Heater</i>)	a. Konstruksi pemanas b. Penempatan pemanas	2	1.a, 1.b
2	<i>Display</i> suhu pemanas dan benda hitam	a. Angka pada <i>display</i> b. Penempatan <i>display</i>	2	2.a, 2.b
3	<i>Thermocouple</i>	a. Konstruksi <i>thermocouple</i> b. Pembacaan suhu <i>thermocouple</i> c. Penempatan <i>thermocouple</i>	3	3.a, 3.b, 3.c
4	Pemegang spesimen uji	a. Konstruksi pemegang spesimen uji b. Penempatan pemegang spesimen uji	2	4.a, 4.b
5	Pemegang benda hitam	a. Konstruksi pemegang benda hitam b. Penempatan pemegang benda hitam	2	5.a, 5.b
6	Meja pengatur sudut	a. Konstruksi meja pengatur sudut b. Penempatan meja pengatur sudut	2	6.a, 6.b
7	Meja pengatur jarak	a. Konstruksi meja pengatur jarak b. Penempatan meja pengatur jarak	2	7.a, 7.b
8	Tampilan spesimen uji	a. Aluminium b. Kuningan c. <i>Stainless steel</i>	3	9.a, 9.b, 9.c
9	Pemeliharaan	-	1	10
10	Tampilan alat peraga	-	1	11
11	Kemudahan penggunaan	-	1	12

Tabel 5. Garis besar instrumen validasi ahli media pembelajaran berupa modul perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Format modul	-	1	1
2	Bahasa	a. Struktur kalimat b. Kejelasan pesan c. Kemudahan bahasa d. Keefektifan bahasa	4	2.a, 2.b, 2.c, 2.d
3	Isi materi dan gambar	a. Kesesuaian materi b. Kejelasan gambar c. Gambar bantu pemahaman	3	3.a, 3.b, 3.c
4	Tampilan	-	1	4

2. Instrumen Validasi untuk Ahli Materi Perpindahan Panas

Instrumen validasi untuk ahli materi perpindahan panas terdiri dari beberapa butir soal bersifat tertutup. Instrumen untuk ahli materi perpindahan panas ditujukan memberikan validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan spesimen uji dan modul peraga perpindahan panas secara radiasi.

Tabel 6. Garis besar instrumen validasi ahli materi perpindahan panas untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Pembacaan suhu	a. Pembacaan suhu spesimen uji b. Pembacaan suhu benda hitam	2	1.a, 1.b
2	Waktu	a. Pencapaian suhu b. Suhu spesimen uji c. Suhu benda hitam	3	2.a, 2.b, 2.c
3	Panas	a. Panas terbuang b. Panas benda hitam c. Panas spesimen uji	3	3.a, 3.b, 3.c
4	Mengukur laju perpindahan panas aluminium	-	1	4

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
5	Mengukur laju perpindahan panas kuningan	-	1	5
6	Mengukur laju perpindahan panas <i>stainless steel</i>	-	1	6

Tabel 7. Garis besar instrumen validasi ahli materi perpindahan panas untuk modul perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Petunjuk	a. Informasi jelas b. Petunjuk pneggunaan	2	1.a, 1.b
2	Isi modul	a. Kesesuaian isi b. Kesesuaian teori c. Gambar bantu pemahaman d. Kerapian isi	4	2.a, 2.b, 2.c, 2.d
3	Bahasa	a. Sesuai kaidah Bahasa Indonesia b. Efektif c. Mudah dipahami	3	3.a, 3.b, 3.c
4	Penilaian umum	a. Modul dapat dipelajari mandiri b. Tampilan	1	4.a, 4.b

3. Angket Tanggapan Mahasiswa terhadap Penggunaan Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi

Angket tanggapan untuk mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi terdiri dari beberapa butir soal bersifat tertutup. Angket ini berfungsi untuk mengetahui tanggapan dan respon mahasiswa penggunaan media pembelajaran perpindahan panas alat peraga dan

modul pada mata kuliah perpindahan kalor dasar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Tabel 8. Garis besar instrumen angket tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi untuk modul perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Penyajian jelas	-	1	1
2	Gambar bantu pemahaman	-	1	2
3	Ketertarikan menggunakan modul	-	1	3
4	Kemudahan memahami petunjuk modul	-	1	4
5	Tampilan modul	-	1	5

Tabel 9. Garis besar instrumen angket tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi untuk alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Aspek	Cakupan	Butir Soal	No. Soal
1	Ketertarikan menggunakan alat peraga	-	1	1
2	Kemudahan menggunakan alat peraga	-	1	2
3	Membantu dalam memahami konsep perpindahan panas secara radiasi	-	1	3
4	Sebagai sumber belajar	-	1	4
5	Tampilan alat peraga	-	1	5

C. Prosedur Penelitian

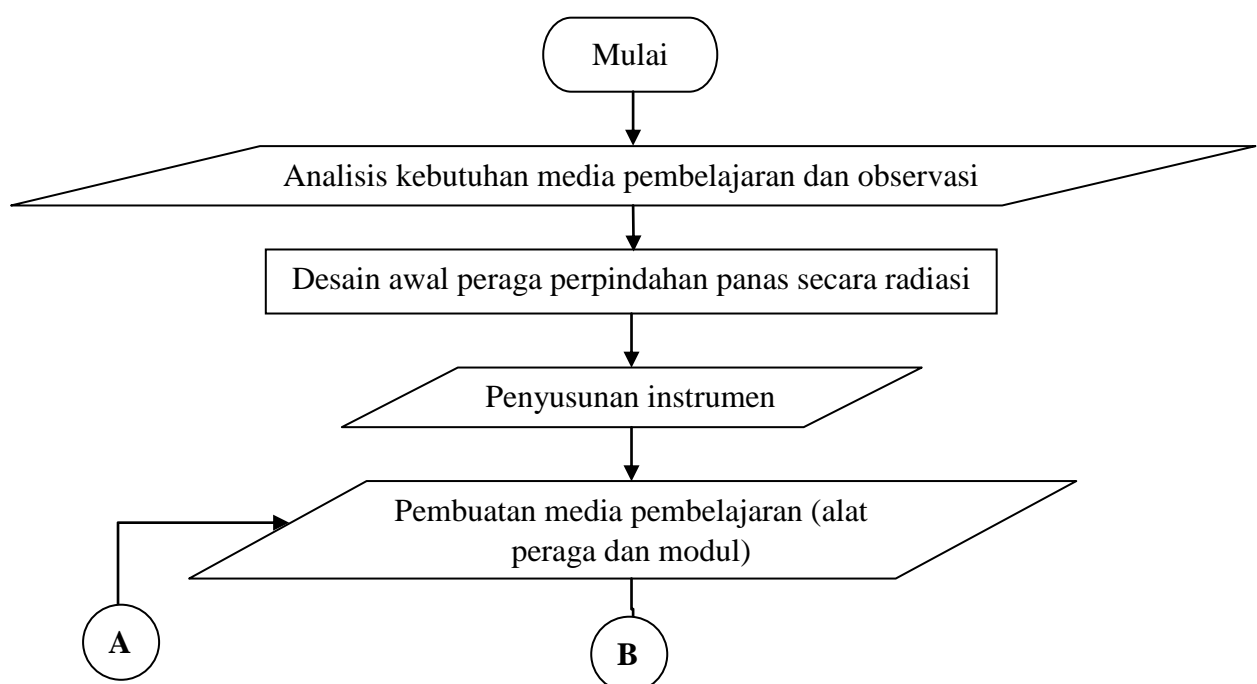
1. Jenis Penelitian

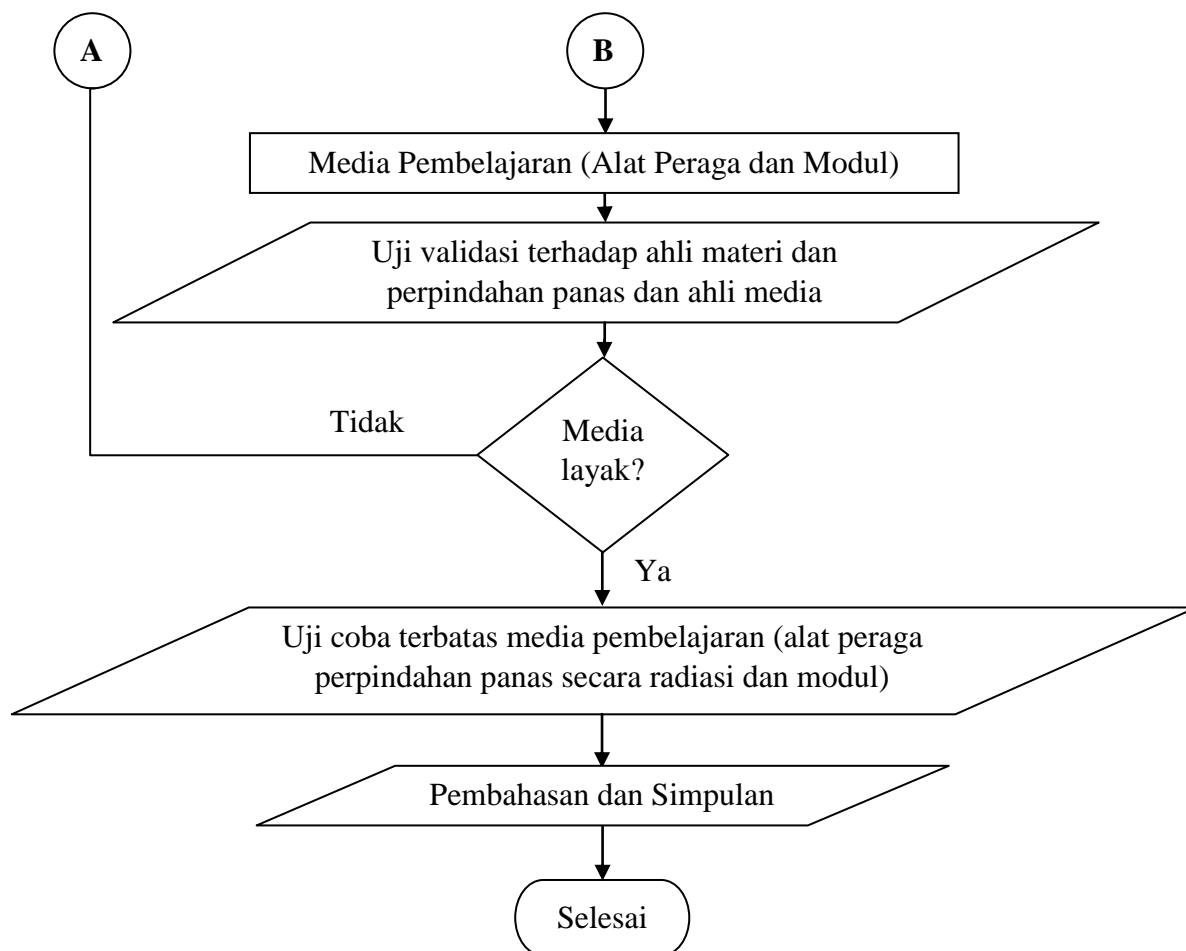
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan. Metode penelitian dan pengembangan (*Research & Development*) adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan suatu produk (Sugiyono, 2011:297).

Haryati (2012: 13) menyatakan, penelitian dan pengembangan bertujuan untuk menemukan, mengembangkan dan memvalidasi suatu produk dan juga, penelitian dan pengembangan bersifat longitudinal (bertahap bisa *multy years*). Selain itu, Haryati (2012: 14) juga menyimpulkan bahwa penelitian dan pengembangan berbeda dengan penelitian biasa yang hanya menghasilkan saran-saran bagi perbaikan, penelitian dan pengembangan menghasilkan produk yang langsung bisa digunakan. Produk yang dihasilkan juga telah memenuhi validasi dari beberapa ahli, sehingga produk dapat dianggap layak dan digunakan secara luas pada bidang yang ditujukan.

Media pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa alat peraga perpindahan panas secara radiasi dan modul perpindahan secara radiasi yang diterapkan dalam mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar.

2. Diagram Alir Penelitian





Gambar 4. Alur penelitian

3. Posedur dan Desain Penelitian

Desain penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah model *ADDIE*. Menurut Baharuddin (2012: 221) *ADDIE* merupakan salah satu model desain pembelajaran yang dikembangkan oleh Reiser dan Mollenda pada tahun 1990-an yang salah satu fungsinya menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung program kinerja pelatihan itu sendiri. Model *ADDIE* memiliki langkah-langkah pengembangan *analysis, design, development, implementation,*

and evaluation. Diadaptasikan menjadi analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Metode *ADDIE* yang digunakan peneliti sejalan dengan model pengembangan Plomp (1997) yang terdiri atas (1) fase investigasi awal, (2) fase desain, (3) fase realisasi, (4) fase tes, evaluasi, dan revisi, serta (5) fase implementasi (Subekti 2010: 661). Tahapan pengembangan *ADDIE* yang digunakan peneliti dapat diuraikan sebagai berikut:

a. *Analysis* (Analisis)

Tahap analisis peneliti melakukan kegiatan awal berupa observasi terhadap alat peraga perpindahan panas secara radiasi di laboratorium perpindahan panas Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hasil observasi alat peraga perpindahan panas radiasi di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta menunjukkan bahwa alat peraga perpindahan radiasi menggunakan metode pengukuran gelombang radiasi. Alat peraga tersebut memiliki standar yang baik karena dibuat secara pabrikan dan memiliki standar perhitungan yang baik. Namun, alat peraga ini dinilai masih berat sehingga menyulitkan jika harus digunakan berpindah tempat.

Selain itu, menganalisis perlunya pengembangan media pembelajaran perpindahan panas berupa alat peraga perpindahan panas secara radiasi. Pengembangan diawali oleh adanya masalah mengenai kebutuhan media pembelajaran perpindahan panas yang dapat memudahkan mahasiswa dalam memahami materi perpindahan panas khususnya perpindahan panas secara radiasi serta kelayakan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas. Kelayakan dinilai dari kemampuan alat

peraga perpindahan panas tersebut dalam menguji laju perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji berupa aluminium, kuningan, dan *stainless steel* yang divalidasi oleh ahli media pembelajaran dan ahli materi perpindahan panas.

Peraga perpindahan panas secara radiasi digunakan sebagai alternatif sarana pembelajaran perpindahan panas dalam memahami konsep bentuk perpindahan panas secara radiasi yang bersifat abstrak dan kompleks.

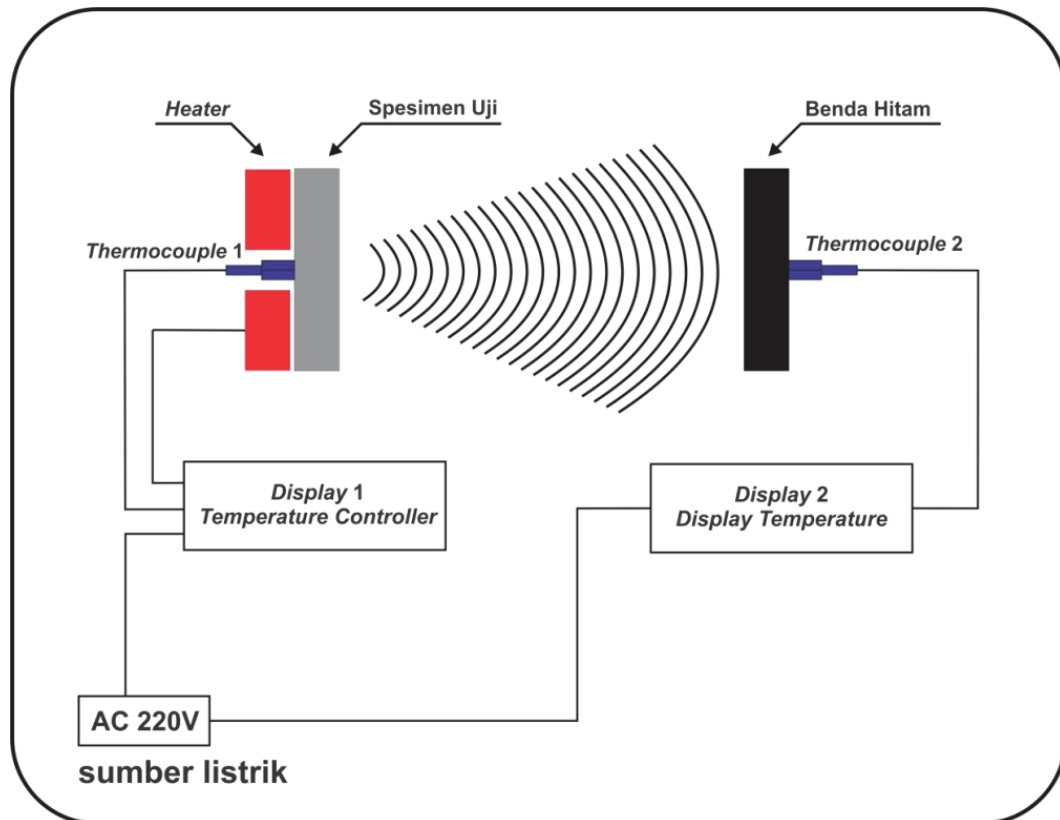
b. *Design* (Perancangan)

Tahap ini merupakan tahap perancangan dari media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi yang dikembangkan. Media pembelajaran yang dikembangkan berupa modul perpindahan panas secara radiasi dan alat peraga perpindahan panas secara radiasi.

Modul yang dikembangkan yaitu berupa modul yang berisi materi dasar perpindahan panas secara radiasi dengan cakupan materi berupa pengertian dasar perpindahan panas secara radiasi, sifat-sifat radiasi, emisivitas benda, laju perpindahan panas secara radiasi, dan faktor geometris. Selain itu, ada beberapa soal-soal tentang analisis yang dapat dipelajari secara mandiri sesuai dengan materi pada modul. Sedangkan, alat peraga perpindahan panas menggambarkan secara sederhana bagaimana proses perpindahan panas secara radiasi itu terjadi dan menunjukkan pengukuran laju perpindahan panas secara radiasi.

Skema kerja alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji, seperti yang terlihat pada gambar 5, merupakan alat peraga yang

digunakan untuk memperagakan perbedaan laju perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji berupa aluminium, *stainless steel*, dan kuningan.



Gambar 5. Skema alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji

Proses kerja dari alat peraga tersebut yaitu, ketika alat tersebut dihidupkan dengan menekan tombol *power*, maka aliran listrik akan menyalakan *heater* yang menempel pada spesimen uji yang terpasang pada pemegang spesimen. *Heater* tersebut secara langsung akan memanaskan spesimen uji sehingga suhunya akan terus naik. Pada spesimen uji, dipasang *thermocouple1* yang dihubungkan dengan *temperature controller* yang ada pada *display 1*. *Thermocouple 1* berfungsi sebagai sensor suhu pada spesimen uji. Hasil pengukuran dari *thermocouple 1* ditampilkan pada *display 1*. Sedangkan fungsi dari *temperature controller* yaitu

untuk mengontrol besarnya temperatur pada spesimen uji agar tetap konstan sesuai suhu pengukuran yang diinginkan. Ketika suhu pada spesimen uji mencapai suhu pengukuran, maka *temperature controller* akan secara otomatis memutus arus listrik yang mengalir pada *heater* sehingga pemanasan pada spesimen uji dihentikan. *Heater* akan kembali menyala secara otomatis ketika suhu pada spesimen uji lebih rendah dari suhu pengukuran.

Pada sisi lain dari alat peraga perpindahan panas secara radiasi, terdapat benda hitam dipasang pada pemegang benda hitam. Benda hitam ini berfungsi sebagai penerima pancaran radiasi dari spesimen uji. Jarak antara spesimen uji dan benda hitam diatur pada jarak tertentu dengan mengatur meja pengatur jarak yang ada pada landasan. Untuk sudut antara spesimen uji dan benda hitam juga dapat diatur dengan memutar meja landasan ke kanan atau ke kiri. Tapi pada penelitian ini, spesimen uji dan benda hitam diatur sejajar. Jadi, pengaturan sudut dilakukan pada 0° . Secara perlahan-lahan akan terjadi pancaran radiasi dari spesimen uji kepada benda hitam. Dalam beberapa waktu, suhu benda hitam akan naik. *Thermocouple 2* yang dipasang pada benda hitam akan mengukur suhu permukaannya dan kemudian hasil dari pembacaan suhu tersebut ditampilkan pada *display 2 (temperature display)*. Hasil pembacaan suhu pada *display 2* dapat langsung dicatat pada tabel pengujian alat peraga yang telah dibuat sebelumnya. Perlu menjadi catatan juga, bahwa benda hitam yang dimaksud dalam penelitian ini bukan benda hitam yang sebenarnya (emisivitas= 1), tetapi merupakan benda hitam tiruan yang memiliki emisivitas mendekati nilai emisivitas= 1 berupa aluminium yang dicat hitam *doff*.

Selain perancangan alat peraga, dibutuhkan pula perangkat pembelajaran berupa modul sebagai penunjang penggunaan alat peraga. Berikut langkah-langkah dalam tahap perancangan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi:

- 1) Membuat rancangan gambar, menentukan bahan pembuatan, dan mengumpulkan bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan alat peraga perpindahan panas secara radiasi.
- 2) Menentukan garis-garis besar isi modul sebagai penunjang penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi.
- 3) Membuat produk berupa alat peraga perpindahan panas secara radiasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Serta, membuat perangkat penunjang berupa modul sesuai dengan garis-garis besar yang telah dibuat sebelumnya.
- 4) Melakukan tahap akhir berupa pengecekan tata tulis modul, serta melakukan uji coba awal pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebelum melakukan uji validasi kepada ahli media dan ahli materi.

Tabel 10. Kekurangan dan bentuk perbaikan alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Kekurangan	Pengembangan (Perbaikan)
1.	Tahap Pertama	
	a. Kehilangan panas (<i>heat lost</i>), pengujian dilakukan secara terbuka sehingga panas yang dihasilkan hilang karena adanya aliran udara sekitar alat peraga.	a. Pemberian <i>box</i> kaca untuk mengurangi kerugian panas yang keluar lingkungan (<i>heat lost</i>).
	b. Pemanasan spesimen uji dengan suhu pengukuran membutuhkan waktu yang lama.	b. Memberikan lubang pada konstruksi tempat <i>heater</i> , sehingga panas yang dihasilkan <i>heater</i> dapat langsung diterima spesimen uji.

No.	Kekurangan	Pengembangan (Perbaikan)
2.	Tahap Kedua	
a.	Informasi pada alat yang tidak jelas berupa tidak adanya spesifikasi alat peraga, nama-nama panel pada alat peraga serta beberapa informasi yang dibutuhkan untuk mempermudah penggunaan alat peraga.	a. Pemberian label informasi pada alat peraga berupa nama alat peraga, spesifikasi alat peraga, nama-nama panel yang terdapat pada panel peraga serta pemberian label peringatan untuk menghindari resiko kecelakaan pada penggunaan alat peraga yang salah.

c. *Development* (Pengembangan)

Tahap pengembangan, *prototype* alat peraga perpindahan panas secara radiasi dan modul dilakukan pengujian dari ahli media, dan ahli materi. Hal ini bertujuan untuk memberikan validasi pada alat peraga perpindahan panas dan modul bahwa layak dijadikan sebagai media pembelajaran perpindahan panas.

Validasi berupa pertimbangan dari ahli media pembelajaran dan ahli materi perpindahan panas untuk mengisi lembar penilaian validasi yang telah disediakan sampai diperoleh produk yang dianggap layak. Selain itu, alat peraga perpindahan panas diujikan untuk melihat kemampuan mengukur besar laju perpindahan panas dengan variasi material spesimen uji.

Setelah validasi, produk yang dihasilkan dapat digunakan untuk tahap penerapan sebagai media pembelajaran perpindahan panas.

d. *Implementation* (Penerapan)

Tahap penerapan merupakan penggunaan alat peraga dijadikan sebagai media pembelajaran perpindahan panas yang digunakan pembelajaran di dalam kelas. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengujian laju perpindahan

panas secara radiasi dengan variasi material spesimen uji berupa aluminium, kuningan, dan *stainless steel*. Tahap penerapan melibatkan satu kelas mahasiswa mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar Prodi Teknik Mesin, S1 Universitas Negeri Semarang sebagai calon pengguna dalam pembelajaran perpindahan panas. Materi mengenai perpindahan panas secara radiasi disampaikan dahulu sebelum memulai pembelajaran menggunakan media pembelajaran perpindahan panas. Penerapan dilakukan untuk mengetahui tanggapan mahasiswa melalui angket yang bersifat tertutup terhadap penggunaan alat peraga sebagai media pembelajaran perpindahan panas. Hasil dari tahap penerapan ini berupa data yang kemudian dianalisis dan ditarik suatu simpulan.

e. *Evaluation* (Evaluasi)

Evaluasi merupakan tahap perbaikan dari keberlangsungan penggunaan dari peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas. Pada penelitian ini, langkah evaluasi akhir mengenai penggunaan dari peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas tidak dilakukan karena hanya sampai tahap penerapan di dalam kelas. Bentuk dari kegiatan evaluasi pada penelitian ini adalah revisi di setiap akhir pengujian yang kemudian menjadi sebuah produk.

D. Data Penelitian

1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Mesin jurusan Teknik Mesin Unnes dan di dalam kelas mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar Prodi Teknik

Mesin, S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada bulan Oktober sampai dengan Desember 2014.

2. Subjek Penelitian

Subjek penelitian yang dalam penelitian ini adalah ahli media pembelajaran, ahli materi perpindahan panas dan mahasiswa peserta mata kuliah perpindahan kalor dasar. Ahli media dan ahli materi perpindahan panas berperan sebagai validator yang mengevaluasi, memberi masukan, dan menilai kelayakan terhadap media pembelajaran yang dibuat.

Uji coba penerapan media pembelajaran perpindahan panas radiasi dilakukan kepada mahasiswa peserta mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar Jurusan Teknik Mesin Unnes semester ganjil tahun ajaran 2014/2015. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap media pembelajaran yang dibuat.

Tabel 11. Subjek penelitian

No.	Tahapan	Subjek Penelitian	Jumlah	Penentuan
1.	Validasi ahli media pembelajaran	Dosen ahli media pembelajaran	1 orang	Berdasarkan keahlian
2.	Validasi ahli materi perpindahan panas	Dosen ahli materi perpindahan panas	2 orang	Berdasarkan keahlian
3.	Uji coba lapangan terhadap produk	Mahasiswa Teknik Mesin Unnes	48 orang	Peserta mata kuliah Perpindahan Kalor Dasar

E. Analisis Data

1. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, peneliti ini menggunakan 3 teknik pengumpulan data, yaitu:

a. Observasi

Observasi yang dilakukan meliputi pengamatan dan mencari data-data, serta melihat potensi yang dapat dikembangkan dari alat peraga perpindahan panas secara radiasi yang ada di laboratorium Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

b. Angket (*kuesioner*)

Peneliti menggunakan angket yang berupa pernyataan dalam bentuk *checklist* dan pernyataan dalam bentuk uraian dengan sifat tertutup yang ditujukan kepada ahli media pembelajaran untuk divalidasi sesuai dengan kriteria media pembelajaran dan ahli materi perpindahan panas untuk divalidasi sesuai dengan kriteria konsep materi perpindahan panas secara radiasi. Kemudian diujikan terhadap mahasiswa untuk memperoleh tanggapan dari mahasiswa terhadap penggunaan alat peraga perpindahan secara radiasi sebagai media pembelajaran.

Skala yang digunakan dalam angket ini adalah skala *Likert*. Menurut Sugiyono (2011: 93), “skala *Likert* digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial”.

Jawaban setiap item instrumen mempunyai gradasi dari sangat positif (sangat baik) sampai sangat negatif (sangat tidak baik) dengan peringkat 4 sampai 1, dengan analisis jawaban sebagai berikut:

- 1) Sangat positif “Sangat Baik” menunjukkan gradasi paling tinggi, dengan poin 4.
- 2) Positif “Baik” menunjukkan peringkat yang lebih rendah dari “Sangat Baik”, dengan poin 3.

- 3) Negatif “Kurang” menunjukkan peringkat yang lebih rendah dari “Baik”, dengan poin 2.
- 4) Sangat negatif “Sangat Kurang” menunjukkan gradasi paling rendah, dengan poin 1.

c. Dokumentasi

Metode dokumentasi yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendata jumlah responden yang akan dijadikan subjek penelitian meliputi: pakar ahli media pembelajaran dosen media pembelajaran sejumlah 1 orang, pakar ahli materi perpindahan panas yaitu dosen perpindahan panas sebanyak 2 orang, dan satu kelas mahasiswa peserta perkuliahan Perpindahan Kalor Dasar sebanyak 48 orang.

2. Analisis Data Keberhasilan Media Pembelajaran

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif persentase, yaitu dengan cara menghitung skor yang dicapai dari seluruh aspek pada angket yang telah dinilai oleh responden. Teknik analisis yang digunakan adalah sebagai berikut (Ali, 1993: 186):

$$\% = \frac{n}{N} \times 100$$

Dengan

n = nilai yang diperoleh
 N = jumlah seluruh nilai

Sedangkan, penentuan kriteria pada tiap aspek dapat dicari dengan menentukan interval skor, yaitu menentukan reratanya terlebih dahulu kemudian dilanjutkan mencari kelas interval skor menggunakan skala *likert* yang telah dibuat.

$$\begin{aligned}
 \text{Skor tertinggi} &= 4 \text{ (Sangat Baik)} \\
 \text{Skor terendah} &= 1 \text{ (Sangat Kurang)} \\
 \text{Jumlah kriteria yang ditentukan} &= 4 \text{ kriteria} \\
 \text{Interval skor} &= \frac{\text{nilai skor tertinggi} - \text{nilai skor terendah}}{\text{Jumlah kriteria penilaian yang ditentukan}} \\
 &= \frac{4-1}{4} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

Maka, dapat diperoleh tabel interval skor dan kriteria tiap aspek sebagai berikut:

Tabel 12. Interval rerata skor dan kriteria untuk penilaian tiap aspek

No	Interval Skor	Kriteria
1	1,00 – 1,75	Sangat Kurang
2	1,76 – 2,25	Kurang
3	2,26 – 3,25	Baik
4	3,26 – 4	Sangat Baik

Kemudian, menentukan kriteria secara keseluruhan dari tiap aspek terhadap media yang diujikan kepada ahli media pembelajaran, ahli materi perpindahan panas, dan mahasiswa ke dalam bentuk persentase sebagai berikut:

- a. Menghitung persentase kriteria penilaian maksimal

$$\begin{aligned}
 \% &= \frac{\text{skala maksimal penilaian}}{\text{jumlah skala penilaian}} \times 100 \\
 &= \frac{4}{4} \times 100\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung persentase kriteria penilaian minimal

$$\begin{aligned}
 \% &= \frac{\text{skala minimal penilaian}}{\text{jumlah skala penilaian}} \times 100 \\
 &= \frac{1}{4} \times 100\% \\
 &= 25\%
 \end{aligned}$$

- c. Menghitung rentang persentase kriteria penilaian

$$\text{rentang} = \text{persentase maksimal} - \text{persentase minimal}$$

$$= 100\% - 25\% = 75\%$$

d. Menghitung persentase interval

$$\begin{aligned} \text{persentase interval} &= \frac{\text{rentang}}{\text{jumlah kriteria penilaian}} \\ &= \frac{75\%}{4} = 18,75\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka *range* persentase dan kriteria penilaian dapat ditetapkan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 13. *Range* persentase dan kriteria penilaian

No.	Interval	Kriteria
1.	$25\% < \text{skor} \leq 43,74\%$	Sangat Kurang
2.	$43,75\% < \text{skor} \leq 62,49\%$	Kurang
3.	$62,50\% < \text{skor} \leq 81,24\%$	Baik
4.	$81,25\% < \text{skor} \leq 100\%$	Sangat Baik

Media pembelajaran dikatakan layak apabila dari angket diperoleh hasil yang berada pada rentang $62,50\% < \text{skor} \leq 81,24\%$ dan $81,25\% < \text{skor} \leq 100\%$ atau pada kriteria “Baik” atau “Sangat Baik”.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

A. Hasil Penelitian

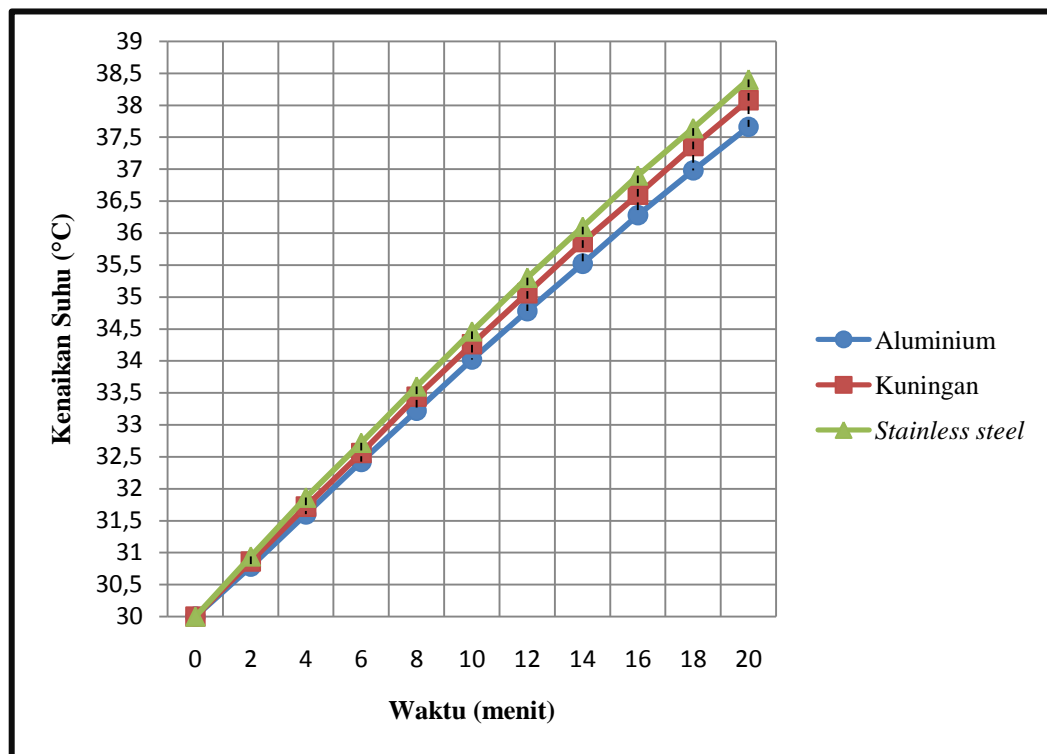
1. Pengujian Alat Peraga dengan Menghitung Laju Perpindahan Panas dari Masing-Masing Spesimen Uji

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat peraga dalam menunjukkan kenaikan suhu yang kemudian dihitung laju perpindahan panas secara radiasi yang terjadi pada spesimen uji. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai bahan validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi kepada para ahli. Spesimen uji yang digunakan ada tiga macam, yaitu aluminium, kuningan, dan *stainless steel*.

Pengujian dilakukan pada masing-masing spesimen dilakukan sebanyak 5 kali. Suhu penelitian spesimen diatur pada *temperature controller* adalah 150°C. Data pengujian berupa kenaikan suhu dari penerima pancaran radiasi dari spesimen uji setiap 2 menit sekali dalam selang waktu 20 menit. Pencatatan kenaikan suhu dilakukan ketika suhu penerima panas mencapai 30°C.

Tabel 14. Rata-rata suhu penerima panas

Waktu (menit)	Suhu Penerima Panas (°C)		
	Aluminium (°C)	Kuningan (°C)	<i>Stainless Steel</i> (°C)
0	30,00	30,00	30,00
2	30,78	30,86	30,94
4	31,60	31,72	31,86
6	32,42	32,56	32,72
8	33,22	33,44	33,6
10	34,02	34,26	34,46
12	34,78	35,06	35,30
14	35,52	35,86	36,10
16	36,28	36,60	36,90
18	36,98	37,36	37,64
20	37,66	38,08	38,40



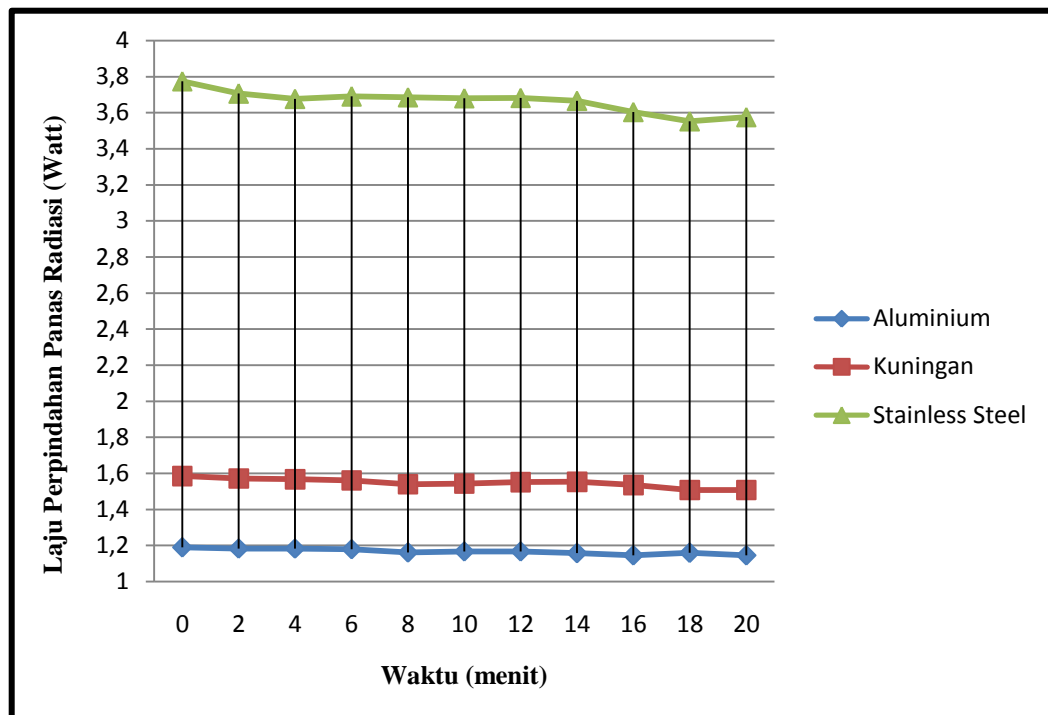
Gambar 6. Grafik kenaikan suhu penerima pancaran radiasi dengan variasi spesimen uji (aluminium, kuningan, dan *stainless steel*)

Hasil dari pengukuran pancaran spesimen uji pada alat peraga menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada masing-masing spesimen dengan material yang berbeda. Spesimen uji dengan pancaran radiasi paling tinggi ke paling rendah dari ketiga spesimen secara berurutan yaitu: (1) *Stainless steel*, (2) Kuningan, dan (3) Aluminium. Artinya spesimen uji *Stainless steel* mempunyai tingkat pemancaran panas terbesar dibandingkan kuningan dan aluminium yang diukur selama 20 menit.

Data hasil pengujian kenaikan suhu spesimen uji pada alat peraga tersebut, kemudian diolah untuk mencari laju perpindahan panas yang terjadi. Berikut ini adalah hasil analisis data dan grafik besar laju perpindahan panas radiasi pada spesimen uji *stainless steel*, kuningan, dan aluminium.

Tabel 15. Laju perpindahan panas secara radiasi

Menit ke-	Besarnya Laju Perpindahan Panas pada Spesimen Uji (Watt)		
	Aluminium	Kuningan	<i>Stainless Steel</i>
0	1,19	1,586	3,774
2	1,184	1,572	3,706
4	1,184	1,568	3,676
6	1,18	1,562	3,69
8	1,162	1,54	3,686
10	1,168	1,544	3,68
12	1,168	1,552	3,682
14	1,158	1,554	3,666
16	1,146	1,536	3,604
18	1,16	1,508	3,552
20	1,146	1,508	3,576
Rerata	1,168	1,548	3,663

Gambar 7. Grafik Besar Laju Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Spesimen Uji (Aluminium, Kuningan, dan *Stainless Steel*)

Grafik di atas menunjukkan bahwa spesimen uji *stainless steel* memiliki nilai laju perpindahan panas radiasi yang paling besar dibandingkan spesimen kuningan dan aluminium yang diukur selama 20 menit. Data pengujian dari

masing-masing spesimen uji, kemudian ditunjukkan kepada ahli materi perpindahan panas sebagai bahan acuan validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji.

2. Hasil Validasi Modul dan Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi dengan Variasi Spesimen Uji

Tahap ini merupakan tahap penilaian dari modul dan alat peraga perpindahan panas secara radiasi agar dapat dijadikan media pembelajaran. Ada beberapa beberapa tahap validasi yang harus dilalui agar dianggap layak. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah melakukan pengujian berupa pengukuran perbedaan suhu yang kemudian digunakan untuk menghitung besar laju perpindahan panas pada masing–masing spesimen uji.

a. Hasil Validasi Ahli Media Pembelajaran

Validasi ahli media pembelajaran dilakukan oleh 1 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Modul dan alat peraga perpindahan panas secara radiasi dilakukan proses validasi yang dilihat dari segi kegunaannya sebagai media pembelajaran.

1) Validasi Modul

Validasi ini dilakukan oleh 1 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang meliputi aspek kesesuaian format modul (1 pertanyaan), bahasa (4 pertanyaan), isi materi dan gambar yang digunakan (3 pertanyaan), serta tampilan (1 pertanyaan).

Tabel 16. Validator ahli media pembelajaran untuk validasi modul

No.	Nama	NIP	Instansi
1.	Drs. Winarno Dwi Rahardjo, M.Pd.	195210021981031001	Teknik Mesin FT Unnes

Hasil uji validasi ahli media terhadap modul sesuai dengan rekapitulasi angket analisis pertanyaan tertutup pada instrumen validasi. Maka, diperoleh hasil tiap aspek yang selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 17. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli media pembelajaran

No.	Indikator	Skor	Kriteria
1.	Kesesuaian format modul	4	Sangat Baik
2.	Bahasa		
	a. Kesesuaian struktur kalimat dengan kaidah Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	4	Sangat Baik
	b. Kejelasan pesan yang ingin disampaikan	4	Sangat Baik
	c. Kemudahan bahasa yang digunakan	4	Sangat Baik
	d. Keefektifan bahasa yang digunakan	4	Sangat Baik
3.	Isi materi dan gambar yang digunakan		
	a. Kesesuaian dengan kebutuhan pengguna	4	Sangat Baik
	b. Kejelasan gambar dengan materi yang diajarkan	3	Baik
	c. Adanya gambar yang membantu dalam pemahaman	4	Sangat Baik
4.	Tampilan	4	Sangat Baik
	Total Skor	35	
	Persentase	97,22%	Sangat Baik

Hasil analisis validasi dari segi media pembelajaran menunjukkan bahwa modul perpindahan panas secara radiasi memiliki: (1) kesesuaian format modul dinilai “sangat baik” dengan format yang baik, (2.a) kesesuaian struktur kalimat dengan kaidah Bahasa Indonesia yang baik dan benar dinilai “sangat baik” dengan penggunaan semua struktur kalimat yang mengacu kaidah Bahasa Indonesia yang baik dan benar, (2.b) kejelasan pesan yang ingin disampaikan dinilai “sangat baik” karena penjelasan yang singkat dan efektif, (2.c) kemudahan bahasa yang digunakan dinilai “sangat baik” dengan penggunaan bahasa yang sesuai dengan sasaran pembaca atau pengguna yaitu mahasiswa, (2.d) keefektifan bahasa yang digunakan dinilai “sangat baik” karena menggunakan kalimat yang efektif

sehingga mudah untuk dipahami, (3.a) kesesuaian dengan kebutuhan pengguna dinilai “sangat baik” dengan isi materi yang mencakup dasar, pemahaman, dan bentuk analisis besar laju perpindahan panas secara radiasi, (3.b) kejelasan gambar dengan materi yang diajarkan masih dinilai “baik” karena masih ada beberapa gambar yang belum jelas dan *font* kurang tebal, (3.c) adanya gambar yang membantu dalam pemahaman dinilai “sangat baik” karena setiap penjelasan yang bersifat abstrak disisipkan gambar yang dapat menjelaskan dan mempermudah pemahaman teori, dan (4) tampilan dinilai “sangat baik” dengan penggunaan warna serta *cover* yang jelas. Selain itu, dari ahli media pembelajaran memberikan saran tertulis berupa kejelasan teks pada suatu gambar untuk memperjelas pembacaan.

2) Validasi Alat Peraga

Validasi ini dilakukan oleh 1 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang meliputi aspek pemanas (2 pertanyaan), *display* suhu pemanas dan benda hitam (2 pertanyaan), *thermocouple* (3 pertanyaan), pemegang spesimen uji (2 pertanyaan), pemegang benda hitam (2 pertanyaan), dan penggunaan spesimen uji (3 pertanyaan).

Tabel 18. Validator ahli media pembelajaran untuk validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Nama	NIP	Instansi
1.	Drs. Winarno Dwi Rahardjo, M.Pd.	195210021981031001	Teknik Mesin FT Unnes

Hasil uji validasi ahli media terhadap Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi sesuai dengan rekapitulasi angket analisis pertanyaan tertutup pada

instrumen validasi. Maka, diperoleh hasil tiap aspek yang selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 19. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli media pembelajaran

No.	Indikator	Skor	Kriteria
1.	Pemanas (<i>Heater</i>)		
	a. Konstruksi pemanas	4	Sangat Baik
	b. Penempatan pemanas	4	Sangat Baik
2.	<i>Display</i> suhu pemanas dan benda hitam		
	a. Angka pada <i>display</i> dapat dibaca dengan jelas	4	Sangat Baik
	b. Penempatan <i>display</i>	4	Sangat Baik
3.	<i>Thermocouple</i>		
	a. Konstruksi <i>Thermocouple</i>	4	Sangat baik
	b. Kejelasan pembacaan suhu <i>Thermocouple</i> pada <i>display</i>	4	Sangat Baik
	c. Penempatan <i>Thermocouple</i>	4	Sangat Baik
4.	Pemegang spesimen uji		
	a. Konstruksi pemegang spesimen uji	3	Baik
	b. Penempatan pemegang spesimen uji	4	Sangat Baik
5.	Pemegang benda hitam		
	a. Konstruksi pemegang benda hitam	4	Sangat baik
	b. Penempatan pemegang benda hitam	4	Sangat Baik
6.	Meja pengatur sudut		
	a. Konstruksi meja pengatur sudut	3	Baik
	b. Penempatan meja pengatur sudut	4	Sangat baik
7.	Meja pengatur jarak		
	a. Konstruksi meja pengatur jarak	4	Sangat Baik
	b. Penempatan meja pengatur jarak	4	Sangat Baik
9.	Tampilan Spesimen Uji		
	a. Aluminium	4	Sangat Baik
	b. Kuningan	4	Sangat Baik
	c. <i>Stainless Steel</i>	4	Sangat Baik
10.	Kemudahan Pemeliharaan	4	Sangat Baik
11.	Tampilan alat peraga secara umum	4	Sangat Baik
12.	Kemudahan dalam penggunaan alat peraga	4	Sangat Baik
	Total Skor	82	
	Persentase	97,62%	Sangat Baik

Hasil analisis validasi dari segi media pembelajaran menunjukkan bahwa Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi memiliki: (1.a) konstruksi pemanas

dinilai “sangat baik” karena bagian penahan *heater* sudah dilubangi, sehingga panas yang keluar dari *heater* langsung fokus ke spesimen uji. (1.b) penempatan pemanas tertutup untuk mengurangi panas yang hilang keluar lingkungan, walaupun masih ada sedikit panas yang keluar. (2.a) angka pada *display* dapat dibaca dengan jelas dinilai “sangat baik” dengan ukuran angka besar dan warna terang yang dapat memudahkan dalam pembacaan. (2.b) penempatan *display* dinilai “sangat baik” karena penempatan yang mudah dilihat dengan baik serta adanya penambahan label untuk kejelasan nama panel. (3.a) konstruksi *thermocouple* dinilai “sangat baik” dengan kabel yang fleksibel dan kuat dalam pemasangannya pada spesimen uji sehingga pembacaan suhu pada spesimen uji maksimal. (3.b) kejelasan pembacaan suhu *thermocouple* pada *display* dinilai “sangat baik” karena suhu yang dibaca *thermocouple* langsung masuk dan ditampilkan ke *display*. (3.c) penempatan *thermocouple* dinilai “sangat baik” karena penempatan *thermocouple* pada konstruksi *heater* langsung masuk ke spesimen uji untuk pemcaan suhu yang efektif. (4.a) konstruksi pemegang spesimen uji dinilai “baik” karena masih ada kekurangan pada pengikatan spesimen uji yang masih menggunakan mur segi enam, sehingga membutuhkan kunci *ring* untuk pengencangannya. (4.b) penempatan pemegang spesimen uji dinilai “sangat baik” dengan letak yang dapat mengikat spesimen uji langsung kepada *heater* untuk pemanasan yang maksimal. (5.a) konstruksi pemegang benda hitam dinilai “sangat baik” karena dibuat fleksibel dan benda hitam dapat dilepas. (5.b) penempatan pemegang benda hitam dinilai “sangat baik” dengan pemegang benda hitam yang letaknya sejajar dengan spesimen uji, sehingga panas yang

dipancarkan dapat langsung diterima benda hitam. (6.a) konstruksi meja pengatur sudut dinilai “baik” dengan ada kekurangan di bagian pembacaan skala sudut yang kurang jelas. (6.b) penempatan meja pengatur sudut dinilai “sangat baik” karena letak sumbu pengaturan sudut segaris dengan permukaan spesimen uji. (7.a) konstruksi meja pengatur jarak dinilai “sangat baik” dengan pengatur jarak pemegang benda hitam yang dapat diatur sesuai jarak pengukuran yang dibutuhkan serta terdapat pengunci pengaturan jarak. (7.b) penempatan meja pengaturan jarak dinilai “sangat baik” karena letaknya yang segaris dengan pemancar panas. (9.a) tampilan spesimen uji aluminium dinilai “sangat baik” karena ukuran yang tidak terlalu besar dan berat serta terdapat lubang ulir untuk penempatan *thermocouple* sebagai pembacaan suhu spesimen uji. (9.b) tampilan spesimen uji kuningan dinilai “sangat baik” karena ukuran yang tidak terlalu besar dan berat serta terdapat lubang ulir untuk penempatan *thermocouple* sebagai pembacaan suhu spesimen uji. (9.c) tampilan spesimen uji *stainless steel* dinilai “sangat baik” karena ukuran yang tidak terlalu besar dan berat serta terdapat lubang ulir untuk penempatan *thermocouple* sebagai pembacaan suhu spesimen uji. (10) kemudahan dalam pemeliharaan dinilai “sangat baik” karena tidak perlu adanya penggantian komponen secara berkala. (11) tampilan alat peraga secara umum dinilai “sangat baik” karena secara umum alat peraga warna dan keterangan serta informasi spesifikasi yang tertera pada alat peraga sudah lengkap. (12) kemudahan dalam penggunaan alat peraga dinilai “sangat baik” karena bentuk variasi pengaruh perpindahan panas sebagian besar sudah tersedia pada alat peraga. Setelah dirata-rata dari keseluruhan aspek validasi yang telah diisi

oleh ahli media pembelajaran diperoleh total skor 82 dengan persentase sebesar 97,62% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik” dan perlu dilakukan revisi untuk hasil yang lebih baik. Dari ahli media pembelajaran menambahkan saran secara tertulis berupa perlunya penambahan meja untuk alat peraga dan pemberian kunci *ring* atau penggantian mur kupu–kupu pada pemegang spesimen uji.

b. Hasil Validasi Ahli Materi Perpindahan Panas

Setelah dilakukan validasi dari ahli media pembelajaran, selanjutnya modul dan alat perpindahan panas secara radiasi dilakukan proses validasi yang dilihat dari segi materi dalam pembelajaran perpindahan panas yang divalidasi oleh 2 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

1) Validasi Modul

Validasi ini dilakukan oleh 1 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang meliputi aspek petunjuk (2 pertanyaan), isi materi modul (4 pertanyaan), penggunaan bahasa (3 pertanyaan), dan penilaian secara umum (2 pertanyaan).

Tabel 20. Validator Ahli Materi Perpindahan Panas untuk Validasi Modul

No.	Nama	NIP	Instansi
1.	Drs. M. Burhan Rubai W., M.Pd.	195210021981031001	Teknik Mesin FT Unnes

Hasil uji validasi ahli materi perpindahan panas terhadap modul sesuai dengan rekapitulasi angket analisis pertanyaan tertutup pada instrumen validasi. Maka, diperoleh hasil tiap aspek yang selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 21. Hasil validasi modul perpindahan panas secara radiasi untuk ahli materi perpindahan panas

No.	Indikator	Skor	Kriteria
1.	Petunjuk		
a.	Informasi dalam petunjuk yang disampaikan sudah jelas dan mudah dipahami.	3	Baik
b.	Adanya petunjuk dapat membantu pengguna untuk menggunakan modul.	3	Baik
2.	Isi modul		
a.	Kesesuaian dengan kebutuhan penggunaan.	4	Sangat Baik
b.	Kesesuaian dengan konsep teori yang berlaku dalam bidang ilmu.	4	Sangat Baik
c.	Adanya gambar yang membantu pemahaman	3	Baik
d.	Kerapian isi modul	3	Baik
3.	Penggunaan bahasa		
a.	Penggunaan bahasa sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia yang baik dan benar.	3	Baik
b.	Penggunaan bahasa yang efektif.	4	Sangat Baik
c.	Bahasa yang digunakan mudah untuk dipahami.	3	Baik
4.	Penilaian umum		
a.	Modul dapat dipelajari secara mandiri.	3	Baik
b.	Tampilan	3	Baik
Total Skor		36	
Persentase		81,82%	Sangat Baik

Hasil analisis validasi dari segi materi perpindahan panas menunjukkan bahwa Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi memiliki: (1.a) informasi dalam petunjuk yang disampaikan sudah jelas dan mudah dipahami dinilai “baik” karena masih ada beberapa petunjuk yang masih sulit dipahami. (1.b) adanya petunjuk-petunjuk yang dapat membantu pengguna untuk menggunakan modul dinilai “baik” dengan petunjuk yang sudah cukup untuk penggunaan modul. (2.a) kesesuaian dengan kebutuhan dinilai “sangat baik” dengan tepat sasaran penggunaan kepada mahasiswa. (2.b) kesesuaian dengan konsep teori yang berlaku dalam bidang ilmu dinilai “sangat baik” dengan tepatnya kebutuhan dalam menyampaikan materi perpindahan panas secara radiasi sampai dengan

analisis besar laju perpindahan panas secara radiasi. (2.c) adanya gambar yang membantu pemahaman dinilai “baik” dengan terdapat gambar yang cukup untuk membantu pemahaman, walaupun ada bagian yang masih disampaikan secara deskriptif tanpa ada gambar yang membantu pemahaman. (2.d) kerapian isi modul masih dinilai “baik” karena ada tata tulis yang belum rapi dan sistematis. (3.a) penggunaan bahasa sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia yang baik dan benar masih dinilai “baik” karena adanya beberapa kalimat yang belum mengikuti kaidah dengan baik dan benar. (3.b) penggunaan bahasa yang efektif dinilai “sangat baik” dengan penjelasan yang singkat, padat, dan jelas sesuai dengan bahasan pada modul. (3.c) bahasa yang digunakan mudah untuk dipahami dinilai “baik” karena terdapat bahasa asing yang digunakan pada modul. (4.a) modul dapat dipelajari secara mandiri dinilai “baik” karena perlu ada penjelasan secara langsung. (4.b) tampilan masih dinilai “baik” karena tampilan modul yang kurang menarik. Setelah dirata-rata dari keseluruhan aspek validasi yang telah diisi oleh ahli media pembelajaran diperoleh total skor 36 dengan persentase 81,82% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik” dan perlu dilakukan revisi untuk hasil yang lebih baik. Dari ahli materi perpindahan panas menambahkan saran secara tertulis berupa pengembangan penyampaian melalui media pembelajaran interaktif dan realistik melalaui pendekatan *scientific*.

2) Validasi Alat Peraga

Validasi ini dilakukan oleh 2 orang dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang meliputi aspek (1) pembacaan suhu, (2) waktu, (3) panas, (4) kemampuan alat peraga untuk mengukur besar laju perpindahan

panas dengan spesimen aluminium, (5) kemampuan alat peraga untuk mengukur besar laju perpindahan panas dengan spesimen kuningan, dan (6) kemampuan alat peraga untuk mengukur besar laju perpindahan panas dengan spesimen *stainless steel*.

Tabel 22. Validator ahli materi perpindahan panas untuk validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi

No.	Nama	NIP	Instansi
1.	Drs. M. Burhan Rubai W., M.Pd.	195210021981031001	Teknik Mesin FT Unnes
2.	Rizqi Fitri N., S.T, M.Eng.	198008302014041001	Teknik Mesin FT Unnes

Hasil uji validasi ahli materi perpindahan panas terhadap alat peraga perpindahan panas secara radiasi sesuai dengan rekapitulasi angket analisis pertanyaan tertutup pada instrumen validasi. Maka, diperoleh hasil tiap aspek yang selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 23. Hasil validasi alat peraga perpindahan panas secara radiasi untuk ahli materi perpindahan panas

No.	Indikator	Skor Penilaian		Rerata Skor	Kriteria
		1	2		
1.	Pembacaan Suhu				
	a. Pembacaan suhu pada spesimen uji	4	3	3,5	Sangat Baik
	b. Pembacaan suhu pada benda hitam	3	3	3	Baik
2.	Waktu				
	a. Waktu pencapaian pengaturan suhu	4	3	3,5	Sangat Baik
	b. Lama pembacaan suhu pada spesimen uji	4	3	3,5	Sangat Baik
	c. Lama pembacaan suhu pada benda hitam	3	3	3	Baik
3.	Panas				
	a. Panas yang terbuang (<i>heat lost</i>)	3	2	2,5	Baik
	b. Panas yang diterima benda hitam (penerima)	3	3	3	Baik

No.	Indikator	Skor Penilaian		Rerata Skor	Kriteria
		1	2		
	c. Panas yang dipancarkan spesimen uji	3	3	3	Baik
4.	Kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji Aluminium	4	3	3,5	Sangat Baik
5.	Kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji Kuningan	4	3	3,5	Sangat Baik
6.	Kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji <i>Stainless Steel</i>	4	3	3,5	Sangat Baik
Total Skor				35,5	
Persentase				80,68%	Baik

Hasil analisis validasi dari segi materi perpindahan panas menunjukkan bahwa alat peraga perpindahan panas secara radiasi memiliki: (1.a) pembacaan suhu pada spesimen uji “sangat baik”, pembacaannya sangat baik karena panas dari *heater* langsung menuju pemanas, sehingga pembacaan *thermocouple* pada spesimen langsung menunjukkan pembacaan suhu spesimen yang baik pada *display*. (1.b) pembacaan suhu pada benda hitam “baik”, pembacaannya dinilai baik karena panas yang terpancar dari spesimen uji tidak sepenuhnya terpancar ke benda hitam. Namun, sebagian besar pancaran radiasi panas telah diterima benda hitam dan *thermocouple* membaca suhu pada benda hitam dan ditampilkan pada *display*. (2.a) waktu pencapaian pengaturan suhu dinilai “sangat baik”, saat pengaturan suhu yang diatur pada suhu yang dikehendaki pemanas langsung memanaskan spesimen uji sesuai dengan pengaturan suhu yang diminta. Mengenai waktu, tergantung dari masing-masing spesimen, karena memiliki tingkat penyerapan panas yang berbeda. (2.b) lama pembacaan suhu pada

spesimen uji dinilai “sangat baik”, karena suhu yang dibaca spesimen uji memiliki selisih yang sedikit karena sebelumnya konstruksi pemanas telah dikembangkan dengan cara melubangi besi penahan *heater*. Sehingga, panas yang dipancarkan oleh *heater* langsung masuk ke spesimen uji. Mengenai toleransi tingkat suhu, pada masing–masing spesimen uji terdapat perbedaan tergantung tingkat penyerapannya. (2.c) lama pembacaan suhu benda hitam dinilai “baik”, sesuai dengan pembacaan yang tertera pada *display*. Karena, pancaran panas yang dihasilkan tidak sepenuhnya diterima benda hitam. Sehingga, pembacaan suhu benda hitam selalu berubah–ubah. (3.a) panas yang terbuang (*heat lost*) dinilai “baik”, masih adanya panas yang terbuang ke luar lingkungan pemancaran panas walaupun sudah ada pengembangan berupa penambahan *box* kaca yang diharapkan dapat menahan panas keluar. (3.b) panas yang diterima benda hitam (penerima) dinilai “baik”, sama halnya dengan aspek kehilangan panas sebelumnya. Panas yang dipancarkan tidak sepenuhnya diterima oleh benda hitam karena adanya faktor konveksi yang menembus *box* kaca. (3.c) panas yang dipancarkan spesimen uji dinilai “baik”, berkaitan dengan material spesimen uji yang berbeda maka, panas yang dipancarkan juga berbeda walaupun dengan pengkondisian permukaan spesimen uji yang sama. (4) kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji aluminium dinilai “sangat baik” berdasarkan analisis perhitungan laju perpindahan panas secara dengan spesimen uji aluminium yang datanya diambil dari pengukuran suhu spesimen uji pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi (5) kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji kuningan

dinilai “sangat baik” berdasarkan analisis perhitungan laju perpindahan panas secara dengan spesimen uji kuningan yang datanya diambil dari pengukuran suhu spesimen uji pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi, dan (6) kemampuan alat peraga untuk mengukur laju perpindahan panas dengan spesimen uji *stainless steel* dinilai “sangat baik” berdasarkan analisis perhitungan laju perpindahan panas secara dengan spesimen uji *stainless steel* yang datanya diambil dari pengukuran suhu spesimen uji pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi. Setelah dirata-rata dari keseluruhan aspek validasi yang telah diisi oleh ahli media pembelajaran diperoleh total skor 35,5 dengan persentase 80,68% yang masuk dalam kriteria “baik” dan perlu dilakukan revisi atau pengembangan untuk hasil yang lebih baik. Dari ahli materi perpindahan panas menambahkan saran secara tertulis berupa penambahan *timer* untuk menentukan suhu yang diambil saat spesimen uji. Serta kelemahan alat peraga pada lama pencapaian suhu, suhu minimal untuk pancaran yang efektif dan standarisasi kondisi ruang *vacuum* untuk mengurangi kehilangan panas.

c. Hasil Tanggapan Mahasiswa terhadap Penggunaan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Secara Radiasi pada Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar

1) Hasil Tanggapan Mahasiswa terhadap Modul Perpindahan Panas secara Radiasi

Hasil tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan modul sebagai media pembelajaran perpindahan panas dapat dilihat pada tabel berikut ini,

Tabel 24. Skor perolehan tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan modul

Modul	Butir Soal					Total Skor	Persentase	Kriteria
	1	2	3	4	5			
Skor	166	157	163	161	143	790	82,29%	Sangat Baik

Dapat dilihat pada tabel di atas, untuk butir soal 1 membahas aspek penyajian petunjuk penggunaan modul sangat jelas mendapatkan skor 166. Butir soal 2 membahas aspek adanya gambar yang mempermudah pemahaman mendapatkan skor 157. Butir soal 3 membahas tentang aspek ketertarikan mahasiswa terhadap penggunaan modul sebagai media pembelajaran mendapatkan skor 163. Butir soal 4 membahas aspek kemudahan pemahaman mahasiswa mengenai petunjuk yang disampaikan modul sebagai media pembelajaran mendapatkan skor 161. Butir soal 5 membahas aspek tampilan modul yang menarik mendapatkan skor 143. Total skor tanggapan mahasiswa mengenai modul sebagai media pembelajaran sebesar 790 dengan nilai persentase 82,29 %. Sesuai dengan *range* persentase dan kriteria kualitatif, maka persentase yang didapatkan modul memiliki kriteria “sangat baik”.

2) Hasil Tanggapan Mahasiswa terhadap Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi

Tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas dapat dilihat dari tabel di bawah ini,

Tabel 25. Skor Perolehan Tanggapan Mahasiswa terhadap Penggunaan Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi sebagai Media Pembelajaran

Alat Peraga	Butir Soal					Total Skor	Persentase	Kriteria
	1	2	3	4	5			
Skor	174	155	171	164	161	825	85,94%	Sangat Baik

Dapat dilihat pada tabel di atas, untuk butir soal 1 membahas aspek ketertarikan penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji mendapatkan skor 174. Butir soal 2 membahas aspek kemudahan penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji mendapatkan skor 155. Butir soal 3 membahas tentang aspek alat peraga perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji membantu mahasiswa dalam memahami konsep perpindahan panas secara radiasi pada berbagai material mendapatkan skor 171. Butir soal 4 membahas aspek alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai salah satu sumber belajar mendapatkan skor 164. Butir soal 5 membahas aspek tampilan alat peraga perpindahan panas secara radiasi yang menarik mendapatkan skor 161. Total skor tanggapan mahasiswa mengenai modul sebagai media pembelajaran sebesar 825 dengan nilai persentase 85,94 %. Sesuai dengan *range* persentase dan kriteria kualitatif, maka persentase yang didapatkan modul memiliki kriteria “sangat baik”.

Mahasiswa juga diminta untuk memberikan tanggapan secara tertulis berupa saran-saran. Dari semua saran tertulis mahasiswa dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran dinilai sangat baik karena dapat memudahkan pemahaman mahasiswa mengenai materi perpindahan panas secara radiasi. Pemahaman disampaikan dengan contoh nyata tidak hanya secara teori. Namun, penyampaian materi dan penggunaan alat peraga perpindahan secara radiasi masih kurang karena keterbatasan waktu pembelajaran.

d. Rekapitulasi Analisis Validasi dan Tanggapan Mahasiswa terhadap Media Pembelajaran Perpindahan Panas secara Radiasi

Setelah mendapatkan semua data hasil uji validasi oleh ahli media pembelajaran dan ahli materi perpindahan panas serta tanggapan mahasiswa, dilanjutkan dengan merekapitulasi semua data secara keseluruhan ke dalam tabel sebagai berikut,

Tabel 26. Rekapitulasi analisis hasil validasi dan tanggapan mahasiswa terhadap media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi

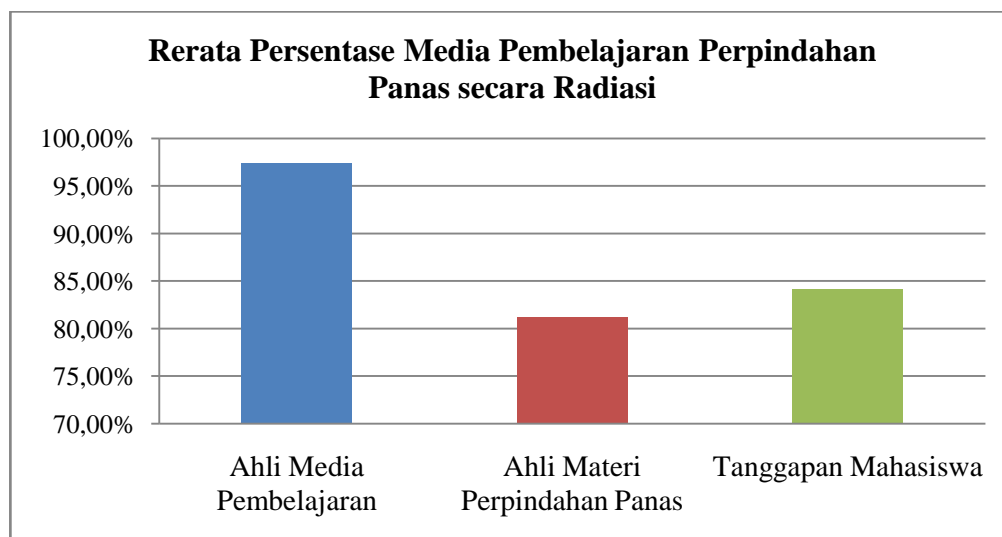
No	Responden	Media Pembelajaran		Rerata	Kriteria
		Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi	Modul Perpindahan Panas Radiasi		
1.	Ahli Media Pembelajaran	97,62%	97,22%	97,42%	Sangat Baik
2.	Ahli Materi Perpindahan Panas	80,68%	81,82%	81,25%	Sangat Baik
3.	Tanggapan Mahasiswa	85,94%	82,29%	84,11%	Sangat Baik

Menurut tabel di atas, dari ahli media pembelajaran mengenai alat peraga perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 97,62%. Modul perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 97,22%. Sehingga didapatkan rerata media pembelajaran yang dinilai oleh ahli media pembelajaran mendapatkan persentase sebesar 97,42% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”.

Selanjutnya, dari ahli materi perpindahan panas mengenai alat peraga perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 80,68%. Modul perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 81,82%. sehingga rerata media pembelajaran yang dinilai oleh ahli materi perpindahan

panas mendapatkan persentase sebesar 81,25% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”.

Sedangkan, dari tanggapan mahasiswa mengenai alat peraga perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 85,94%. Modul perpindahan panas secara radiasi mendapatkan persentase sebesar 82,29%. sehingga didapatkan rerata media pembelajaran yang dinilai dari tanggapan mahasiswa mendapatkan persentase sebesar 84,11% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”.



Gambar 8. Grafik rerata persentase perolehan uji validasi dan tanggapan mahasiswa

B. Pembahasan

Kecenderungan dalam pembelajaran adalah penyampaian materi dilakukan secara teori. Hal tersebut menyulitkan pemahaman materi yang disampaikan, karena tidak dapat melihat fenomena secara langsung yang terjadi pada penjelasan teori. Media dalam pembelajaran sangat dibutuhkan dalam proses penyampaian

materi yang bersifat teoritis. Adanya media, dapat membantu pemahaman dengan melihat langsung fenomena yang terjadi sesuai dengan penjelasan secara teori.

Perpindahan panas merupakan salah satu materi perkuliahan yang di dalamnya banyak terdapat penjelasan materi yang dicontohkan dengan berbagai fenomena nyata yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah perpindahan panas secara radiasi. Dengan adanya alat peraga yang menunjukkan fenomena perpindahan panas radiasi, diharapkan pemahaman mengenai perpindahan panas radiasi dapat lebih baik.

Hasil penelitian di atas menunjukkan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi menurut ahli media pembelajaran mendapatkan perolehan persentase 97,42% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”. Untuk media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi menurut ahli materi perpindahan panas mendapatkan perolehan persentase 81,25% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”. Sedangkan, media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi menurut tanggapan mahasiswa mendapatkan perolehan persentase 84,11% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”

Kedudukan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran sangat baik karena dapat memberikan penyampaian materi perpindahan panas secara radiasi yang interaktif dan bersifat realistik serta melalui pendekatan yang *scientific*. Pentingnya alat peraga ditegaskan oleh Arjanggih (2012: 4) alat peraga dalam mengajar memegang peranan penting sebagai alat bantu untuk menciptakan proses belajar mengajar yang efektif dan juga alat peraga memegang peranan yang penting sebab dengan adanya alat peraga ini

bahan dapat dengan dipahami oleh siswa. Rancangan alat peraga perpindahan panas dibuat sedemikian rupa dan penggunaannya yang dapat memudahkan pemahaman mahasiswa mengenai perpindahan panas secara radiasi.

Modul digunakan sebagai bahan penunjang agar penggunaan alat peraga perpindahan panas secara radiasi dapat terarah dengan baik. Isi dari modul juga menggunakan pendekatan ilmiah yang didasarkan dengan fenomena nyata yang ada dalam kehidupan sehari-hari. Triawan (2011: 76) untuk mahasiswa, pendekatan pembelajaran dengan sistem modul memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk belajar secara mandiri sesuai dengan percepatan pembelajaran masing-masing selain itu, adanya pembelajaran melalui sistem modul maka dalam pembelajaran akan memperoleh keuntungan yaitu keutuhan dan ketuntasan penguasaan kompetensi, kesinambungan proses pembelajaran, dan efisiensi penggunaan sumber daya pendidikan.

C. Keterbatasan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat keterbatasan penelitian yaitu kelengkapan media pembelajaran berupa RPP (Rencana Pelaksanaan Pembelajaran) yang belum dilakukan validasi. Hal ini terjadi, karena keterbatasan waktu penelitian yang singkat. Pemberian materi perpindahan panas secara radiasi di dalam kelas kurang maksimal karena waktu yang pembelajaran yang terbatas, sehingga proses belajar mengajar kurang efektif.

Selain itu, benda hitam pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi merupakan benda yang diasumsikan benda hitam. Artinya, benda hitam pada alat peraga perpindahan panas secara radiasi bukanlah benda hitam sesungguhnya

yang memiliki nilai emisivitas= 1 dan juga, panas yang dipancarkan spesimen uji alat peraga perpindahan panas secara radiasi tidak sepenuhnya diserap dan diterima benda hitam karena tidak adanya pemusat pancaran panas. Walaupun panas yang keluar lingkungan atau panas yang hilang (*heat lost*) sudah diantisipasi dengan pembuatan *box* kaca.

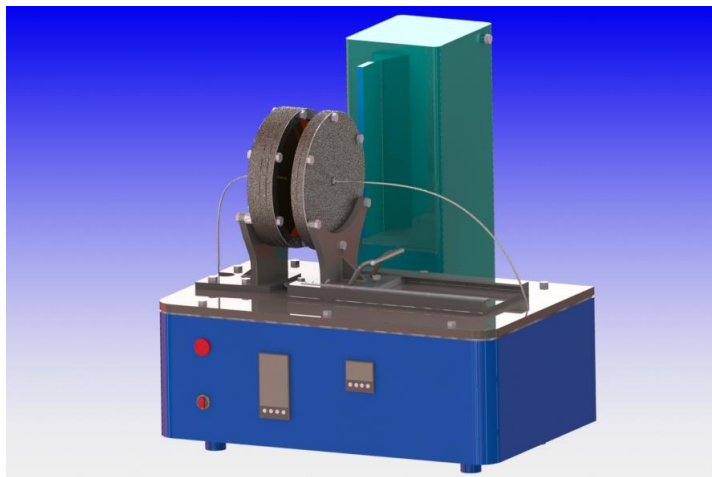
BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap alat peraga dan modul perpindahan panas radiasi sebagai media pembelajaran perpindahan panas pada Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar, dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Bentuk pengembangan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi dengan variasi spesimen uji berupa alat peraga dan modul pembelajaran.



Gambar 9. Rancangan alat peraga perpindahan panas secara radiasi

2. Pengembangan media pembelajaran perpindahan panas telah memenuhi kelayakan dari sisi media pendidikan yang ditunjukkan dengan perolehan persentase sebesar 97,42% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”. Pengembangan media pembelajaran perpindahan panas telah memenuhi kelayakan dari sisi materi perpindahan panas yang ditunjukkan dengan perolehan persentase sebesar 81,25% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”.

3. Pengembangan media pembelajaran perpindahan panas telah memenuhi kelayakan dari tanggapan mahasiswa yang ditunjukkan dengan perolehan persentase sebesar 84,11% yang termasuk dalam kriteria “sangat baik”.

B. Saran Pemanfaatan Hasil Penelitian

Saran pemanfaatan hasil penelitian tentang media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi sebagai berikut:

1. Media pembelajaran perpindahan panas yang peneliti kembangkan dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran pada mata kuliah perpindahan kalor dasar ditinjau dari hasil validasi ahli media pembelajaran dan ahli materi perpindahan panas. Sehingga, diharapkan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi ini dapat digunakan sebagai media penunjang mata kuliah perpindahan kalor dasar di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tahun ajaran berikutnya.
2. Keterbatasan penelitian pada pengembangan media pembelajaran perpindahan panas berupa validasi perangkat pembelajaran, benda hitam, standarisasi ruang *vacuum*, *timer*, dan kehilangan panas (*heat lost*) untuk selanjutnya dapat diperbaiki dan dikembangkan pada penelitian berikutnya.
3. Peneliti lain dapat melakukan penelitian lanjutan tentang pembelajaran menggunakan pengembangan media pembelajaran perpindahan panas secara radiasi untuk mengetahui hasil belajar mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, Nashihun dan I Made Arsana. 2014. Perencanaan Sistem Aliran Fluida Pada Rancang Bangun Alat Penguji Efisiensi Wire And Tube Head Exchanger. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Volume 1. Nomor 2: Halaman 47-51.
- Ali, Mohammad. 1993. *Strategi Penelitian Pendidikan*. Bandung: Angkasa.
- Arjanggi, Edy Tandililing dan Deden Ramdani. 2012. Peningkatan Motivasi dan Hasil Belajar Siswa melalui Penerapan Metode Demonstrasi Berbantuan Alat Peraga Bangun Ruang pada Pembelajaran Matematika. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*. Volume 2. Nomor 4: Halaman 1-13.
- Arsyad, Azhar. 2011. *Media Pembelajaran*. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada.
- Baharuddin. 2012. Pengembangan Sumber Belajar Berbasis Multimedia Interaktif pada Mata Diklat Memasang Instalasi Penerangan Listrik. *Jurnal Teknologi Pendidikan*. Halaman 220-227.
- Haryati, Sri. 2012. *Research and Development (R&D) sebagai Salah Satu Model Penelitian dalam Bidang Pendidikan*. <http://jurnal.utm.ac.id/index.php/MID/article/view/13>. Diunduh pada 3 Februari 2015 18.06 WIB.
- Holman, Jack. P. 1995. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Alih bahasa Jasifi, E. Jakarta: PT Erlangga.
- Huda, Moch. Saeful dan I Made Arsana. 2013. Pengembangan Modul Pembelajaran *Thermal Radiation* untuk Menunjang Perkuliahan Perpindahan Panas Mahasiswa D3 Teknik Mesin FT Unesa. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. Volume 2. Nomor 1: Halaman 15-23.
- Incropera, Frank P. dan David P. De Witt. 1990. *Fundamental of Heat Transfer (Third Edition)*. New York: John Willey & Sons.
- Isnaini, Vandri Ahmad 2012. Pembuatan Alat Ukur Konduktivitas Panas Bahan Padat untuk Media Praktek Pembelajaran Keilmuan Fisika. *Edu-Physic*. Volume 3: Halaman 117-128.
- Kreith, Frank. 1991. *Perpindahan Panas*. Alih bahasa Prijono, Arko Jakarta: PT Erlangga.
- Koestoer, R. Artono. 2002. *Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Latuheru, John D. 1988. *Media Pembelajaran dalam Proses Belajar-Mengajar Masa Kini*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat

Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.

- Rochman, Nurul Taufiqu. 2006. Pengembangan Kuningan Tahan Dezinsifikasi/Korosi dari Skrap Lokal. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Edisi khusus: Halaman 54-57.
- Setiawan, Edy, Dwi Widjanarko dan Aris Budiyo. 2009. Pengembangan Panel Peraga Multifungsi Sistem lampu Kepala sebagai Upaya Meningkatkan Kompetensi Sistem Penerangan Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. Volume 9. Nomor 1: Halaman 22-29.
- Subekti, Hasan. 2010. Pengembangan Perangkat Pembelajaran Sains SMP Berorientasi Pendidikan Berkarakter dengan Model Kooperatif pada Materi Sensivitas Indera Peraba. *Proceedings of The 4th International Conference on Teacher Education; Join Conference UPI & UPSI Bandung, Indonesia, 8-10 November 2010*. Halaman 658-668.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Triawan, Rifqi dan Supraptono. 2011. Penerapan Modul Pembelajaran *Electric Power Steering (EPS)* untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kompetensi Sistem Kemudi. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*. Volume 11. Nomor 2: Halaman 76-80.
- Umar. 2013. Media Pendidikan: Peran dan Fungsinya dalam Pembelajaran. *Jurnal Tarbawiyah*. Volume 10. Nomor 2. Edisi Juli-Desember 2013: Halaman 126-141.
- Viajayani, Eka Reny, Yohanes Radiyono, dan Dwi Teguh Raharjo. 2013. Pengembangan Media Pembelajaran Fisika menggunakan *Macromedia Flash Pro 8* pada Pokok Bahasan Suhu dan Kalor. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Volume 1. Nomor 1: Halaman 144-155.
- Wicaksono, Tangguh, Hadromi dan Karsono. 2012. Media Peraga Programmed Fuel Injection untuk Meningkatkan Hasil Belajar Sistem Bahan Bakar. *Automotive Science and Education Journal*. Volume 1. Nomor 1: Halaman 50-55.
- Wicaksono, Trisno Abdi, Hadromi dan Masugino. 2013. Penerapan Panel Peraga Sistem Penerangan Sepeda Motor sebagai Upaya untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa SMK Negeri 1 Tengar. *Automotive Science and Education Journal*. Volume 2. Nomor 1: Halaman 37-43.

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DENGAN VARIASI MATERIAL SPESIMEN UJI

A. PENGANTAR

Pengujian alat peraga ini dimaksudkan untuk melakukan pengambilan data dalam rangka ujicoba terhadap alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai syarat untuk validasi alat peraga oleh ahli materi perpindahan panas. Pengujian tersebut dilakukan dalam penelitian skripsi yang berjudul “Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Material Spesimen Uji”.

B. ALAT DAN BAHAN

1. Alat peraga perpindahan panas radiasi
2. Spesimen uji dengan beda bahan berupa aluminium, kuningan, *stainless steel* dengan ukuran diameter 16 cm dan tebal 1 cm
3. Stop watch
4. Kunci pas ukuran 10
5. Tabel instrumen pengambilan data

C. LANGKAH PENGUJIAN

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengujian

1. Persiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan pada ujicoba tersebut (alat peraga, spesimen uji, tabel pengambilan data, dll)
2. Pastikan terlebih dahulu bahwa alat peraga tersebut sudah dikalibrasi.
3. Hubungkan alat peraga perpindahan panas dengan sumber listrik AC pada stop kontak.
4. Pasang spesimen uji pada penjepit 1 disebelah kiri.
5. Hidupkan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) dibagian belakang alat peraga pada posisi ON.
6. Tekan POWER dibagian depan alat peraga pada posisi ON, maka secara otomatis *display 1*, *display 2* dan *heater* akan menyala secara bersamaan.
7. Lakukan pengaturan suhu maksimum penelitian pada *display 1* dengan menekan tombol *Setting Value* dan Tombol UP/DOWN.

8. Biarkan selama beberapa menit sehingga *heater* memanaskan spesimen uji sampai suhu penelitian.
9. Jika suhu spesimen uji mencapai suhu penelitian, atur jarak dan sudut penerima pancaran (Benda Hitam).
10. Siapkan tabel pengujian dan stopwatch.
11. Ketika suhu benda hitam mencapai suhu awal pengambilan data (misalkan 30° C), mulailah penghitungan stopwatch.
12. Catat kenaikan suhu penerima panas (benda hitam) setiap selang waktu 2 menit selama 20 menit.
13. Setelah waktu penelitian selesai, lakukan pendinginan spesimen uji dengan menggunakan penyembur udara sebelum melepasnya.
14. Catat data yang didapatkan pada pengujian 1, spesimen 1 pada tabel yang tersedia.
15. Untuk pengujian selanjutnya, ganti spesimen uji dengan benda 2. Setelah selesai, ganti dengan benda 3 dan seterusnya sampai semua benda diuji cobakan. Spesimen uji hanya diperbolehkan melakukan pengambilan data 1 kali tiap pengujian sampai semua spesimen uji diuji cobakan, baru dilakukan pengambilan data ke-2 pada pengujian tersebut.
16. Jadi, urutan pengujiannya yaitu:
Pengujian 1: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3
Pengujian 2: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3
Pengujian 3: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3
Pengujian 4: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3
Pengujian 5: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3
17. Pengujian dilakukan selama 5 kali. Setelah semua pengujian dilakukan, masukkan data pengujian pada tabel.

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 1

Hari/ Tanggal : KAMIS, 18 DESEMBER 2014
 Tempat Pengambilan Data : LAB. TEKNIK MESIN UNNES
 Waktu : PUKUL 08.30 – 11.50 WIB
 Nama Peneliti : RIWAN SETIARSO
 Variabel Penelitian : PERBEDAAN MATERIAL SPESIMEN UJI

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : ALUMINIUM Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	148,3	30
2	150,3	30,8
4	150,1	31,6
6	148,3	32,4
8	149	33,2
10	150,7	34
12	149,3	34,7
14	148,2	35,4
16	150	36,2
18	150,3	36,8
20	148,6	37,5

PENGUJIAN KE-2

Spesimen Uji : KUNINGAN Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	149	30
2	148	30,8
4	149,4	31,6
6	150,7	32,4
8	149,4	33,3
10	148,1	34,1
12	149,1	34,9
14	150,6	35,7
16	149,8	36,4
18	148,2	37,2
20	148,9	37,9

PENGUJIAN KE-3

Spesimen Uji : *STAINLESS STEEL* Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	152	30
2	150,9	30,9
4	148,4	31,7
6	146,9	32,5
8	147,4	33,3
10	149,4	34,2
12	151,4	35
14	151,5	35,8
16	150,1	36,6
18	147,8	37,3
20	146,9	38,1

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 2

Hari/ Tanggal : KAMIS, 19 DESEMBER 2014
 Tempat Pengambilan Data : LAB. TEKNIK MESIN UNNES
 Waktu : PUKUL 08.30 – 11.50 WIB
 Nama Peneliti : RIWAN SETIARSO
 Variabel Penelitian : PERBEDAAN MATERIAL SPESIMEN UJI

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : ALUMINIUM Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	150,1	30
2	148,3	30,9
4	149,2	31,7
6	150,4	32,6
8	148,6	33,4
10	148,7	34,3
12	150,6	35,1
14	149,6	35,9
16	148,4	36,6
18	149,9	37,4
20	150,2	38,1

PENGUJIAN KE-2

Spesimen Uji : KUNINGAN Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	148	30
2	148,8	30,9
4	150,6	31,7
6	150	32,6
8	148,1	33,5
10	148,5	34,4
12	150,6	35,2
14	150,4	36
16	148,6	36,8
18	148,2	37,5
20	150,1	38,3

PENGUJIAN KE-3

Spesimen Uji : *STAINLESS STEEL* Set Value Spesimen : 150 °C
Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	150,7	30
2	148,3	30,9
4	146,9	31,9
6	147,8	32,7
8	150,1	33,7
10	151,3	34,5
12	150,8	35,4
14	149,0	36,2
16	147,4	37
18	147,9	37,8
20	149,9	38,5

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 3

Hari/ Tanggal : SENIN, 22 DESEMBER 2014
 Tempat Pengambilan Data : LAB. TEKNIK MESIN UNNES
 Waktu : PUKUL 08.30 - 11.50 WIB
 Nama Peneliti : RIWAN SETIARSO
 Variabel Penelitian : PERBEDAAN MATERIAL SPESIMEN UJI

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : ALUMINIUM Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	149,5	30
2	148,4	30,6
4	150,4	31,4
6	149,9	32,1
8	148,2	32,9
10	149,2	33,6
12	150,6	34,3
14	148,9	35
16	148,4	35,7
18	150,4	36,4
20	150,0	37

PENGUJIAN KE-2

Spesimen Uji : KUNINGAN Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	149,4	30
2	148	30,9
4	149	31,8
6	150,7	32,6
8	150	33,6
10	148,2	34,4
12	148,7	35,2
14	150,6	36
16	150,3	36,8
18	148,5	37,6
20	148,4	38,3

PENGUJIAN KE-3

Spesimen Uji : *STAINLESS STEEL* Set Value Spesimen : 150 °C
Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	151,6	30
2	149,5	30,9
4	147,4	31,9
6	147,5	32,8
8	149,5	33,8
10	151,5	34,7
12	151,4	35,6
14	149,8	36,5
16	147,7	37,3
18	147,5	38
20	149,2	38,8

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 4

Hari/ Tanggal : SELASA, 6 JANUARI 2015
 Tempat Pengambilan Data : LAB. TEKNIK MESIN UNNES
 Waktu : PUKUL 08.30 - 11.50 WIB
 Nama Peneliti : RIWAN SETIARSO
 Variabel Penelitian : PERBEDAAN MATERIAL SPESIMEN UJI

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : ALUMINIUM Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	149,6	30
2	150,2	30,8
4	149,4	31,6
6	150,4	32,4
8	149,4	33,2
10	150,4	34
12	149,3	34,8
14	150,4	35,5
16	149,4	36,3
18	150,3	37
20	149,7	37,7

PENGUJIAN KE-2

Spesimen Uji : KUNINGAN Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	150	30
2	149,1	30,8
4	150,4	31,7
6	149,8	32,5
8	149,5	33,3
10	150,4	34,1
12	149,4	34,9
14	150,0	35,7
16	150,1	36,4
18	149,3	37,1
20	150,4	37,8

PENGUJIAN KE-3

Spesimen Uji : *STAINLESS STEEL* Set Value Spesimen : 150 °C
Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	148,7	30
2	150,4	31
4	150,9	31,9
6	149,9	32,8
8	148,5	33,6
10	148,7	34,4
12	150,3	35,2
14	150,9	35,9
16	150,1	36,7
18	148,7	37,4
20	148,8	38,2

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 5

Hari/ Tanggal : RABU, 6 JANUARI 2015
 Tempat Pengambilan Data : LAB. TEKNIK MESIN UNNES
 Waktu : PUKUL 08.30 - 11.50 WIB
 Nama Peneliti : RIWAN SETIARSO
 Variabel Penelitian : PERBEDAAN MATERIAL SPESIMEN UJI

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : ALUMINIUM Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	150,3	30
2	149,5	30,8
4	150	31,7
6	149,7	32,6
8	149,8	33,4
10	150	34,2
12	149,6	35
14	150,2	35,8
16	149,5	36,6
18	150,3	37,3
20	149,4	38

PENGUJIAN KE-2

Spesimen Uji : KUNINGAN Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	149,5	30
2	150,3	30,9
4	149,4	31,8
6	150,3	32,7
8	149,8	33,5
10	149,6	34,3
12	150,2	35,1
14	149,3	35,9
16	150,3	36,6
18	149,8	37,4
20	149,6	38,1

PENGUJIAN KE-3

Spesimen Uji : *STAINLESS STEEL* Set Value Spesimen : 150 °C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30 °C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0	150,3	30
2	148,9	31
4	149,1	31,9
6	150,6	32,8
8	150,6	33,6
10	149,3	34,5
12	149	35,3
14	150,3	36,1
16	150,8	36,9
18	149,7	37,7
20	149,0	38,4

Semarang, 20 Januari 2015

Mahasiswa

Riwan Setiarso
NIM 5201410030

mengetahui,

Laboran
 Lab. Uji Peforma Unnes

Kepala Laboratorium
 Jurusan Teknik Mesin Unnes

R. Imanu Dandar Herunandi
NIP 7404103051369

Rusiyanto, S.Pd., M.T
NIP 197403211999031002

**RATA-RATA KENAIKAN SUHU PENERIMA PANAS DALAM PENGUJIAN ALAT
PERAGA PERPINDAHAN PANAS RADIASI DENGAN VARIASI SPESIMEN UJI**

Spesimen Uji : Aluminium

Waktu (menit)	Data 1 (°C)	Data 2 (°C)	Data 3 (°C)	Data 4 (°C)	Data 5 (°C)	Rata- Rata (°C)
0	30	30	30	30	30	30
2	30,8	30,9	30,6	30,8	30,8	30,78
4	31,6	31,7	31,4	31,6	31,7	31,6
6	32,4	32,6	32,1	32,4	32,6	32,42
8	33,2	33,4	32,9	33,2	33,4	33,22
10	34	34,3	33,6	34	34,2	34,02
12	34,7	35,1	34,3	34,8	35	34,78
14	35,4	35,9	35	35,5	35,8	35,52
16	36,2	36,6	35,7	36,3	36,6	36,28
18	36,8	37,4	36,4	37	37,3	36,98
20	37,5	38,1	37	37,7	38	37,66

Spesimen Uji : Kuningan

Waktu (menit)	Data 1 (°C)	Data 2 (°C)	Data 3 (°C)	Data 4 (°C)	Data 5 (°C)	Rata- Rata (°C)
0	30	30	30	30	30	30
2	30,8	30,9	30,9	30,8	30,9	30,86
4	31,6	31,7	31,8	31,7	31,8	31,72
6	32,4	32,6	32,6	32,5	32,7	32,56
8	33,3	33,5	33,6	33,3	33,5	33,44
10	34,1	34,4	34,4	34,1	34,3	34,26
12	34,9	35,2	35,2	34,9	35,1	35,06
14	35,7	36	36	35,7	35,9	35,86
16	36,4	36,8	36,8	36,4	36,6	36,6
18	37,2	37,5	37,6	37,1	37,4	37,36
20	37,9	38,3	38,3	37,8	38,1	38,08

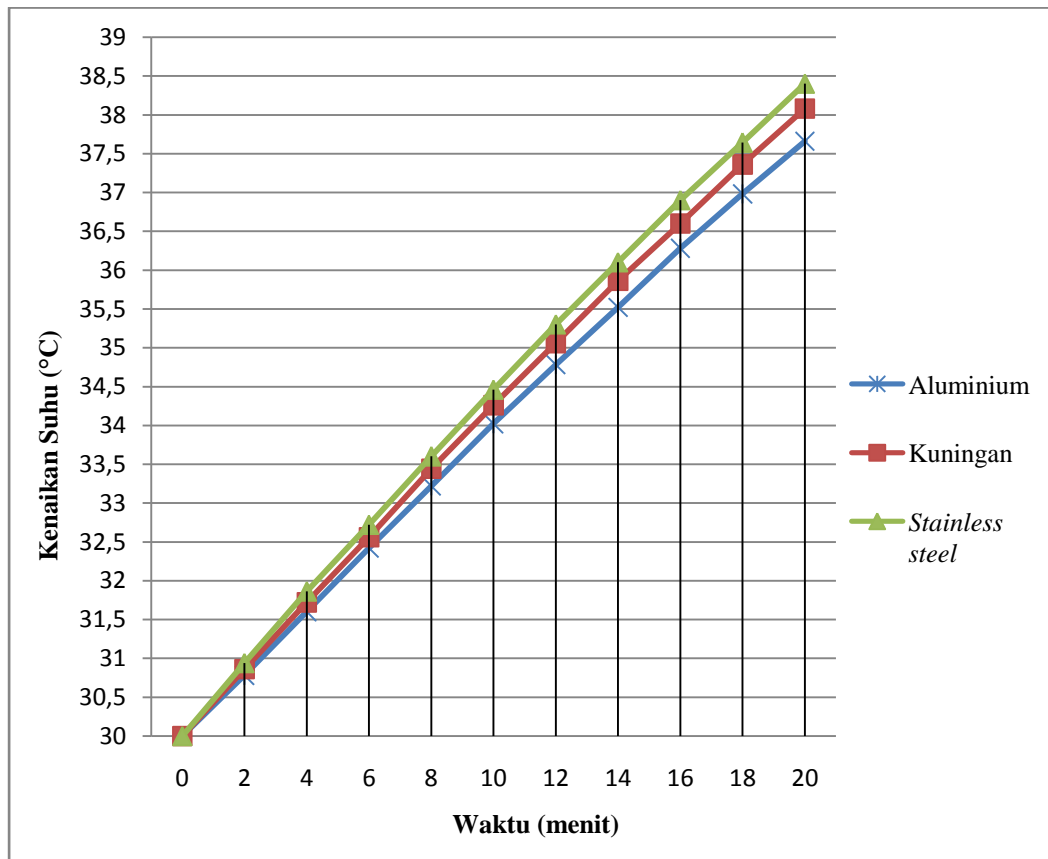
Spesimen Uji : *Stainless Steel*

Waktu (menit)	Data 1 (°C)	Data 2 (°C)	Data 3 (°C)	Data 4 (°C)	Data 5 (°C)	Rata- Rata (°C)
0	30	30	30	30	30	30
2	30,9	30,9	30,9	31	31	30,94
4	31,7	31,9	31,9	31,9	31,9	31,86
6	32,5	32,7	32,8	32,8	32,8	32,72
8	33,3	33,7	33,8	33,6	33,6	33,6
10	34,2	34,5	34,7	34,4	34,5	34,46
12	35	35,4	35,6	35,2	35,3	35,3
14	35,8	36,2	36,5	35,9	36,1	36,1
16	36,6	37	37,3	36,7	36,9	36,9
18	37,3	37,8	38	37,4	37,7	37,64
20	38,1	38,5	38,8	38,2	38,4	38,4

**REKAPITULASI RATA-RATA KENAIKAN SUHU PENERIMA PANAS DALAM
PENGUJIAN SPESIMEN UJI DENGAN VARIASI MATERIAL PADA ALAT
PERAGA PERPINDAHAN PANAS RADIASI**

Waktu (menit)	Aluminium (°C)	Kuningan (°C)	Stainless Steel (°C)
0	30	30	30
2	30,78	30,86	30,94
4	31,6	31,72	31,86
6	32,42	32,56	32,72
8	33,22	33,44	33,6
10	34,02	34,26	34,46
12	34,78	35,06	35,3
14	35,52	35,86	36,1
16	36,28	36,6	36,9
18	36,98	37,36	37,64
20	37,66	38,08	38,4

**GRAFIK RATA-RATA KENAIKAN SUHU PENERIMA PANAS DALAM
PENGUJIAN SPESIMEN UJI DENGAN VARIASI MATERIAL PADA ALAT
PERAGA PERPINDAHAN PANAS RADIASI**



**ANALISIS PERHITUNGAN LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI
PADA PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA
RADIASI DENGAN VARIASI SPESIMEN UJI**

1. Analisis Laju Perpindahan Panas

Analisis perhitungan laju perpindahan panas radiasi pada pengujian spesimen uji ini dimaksudkan untuk menghitung besarnya laju perpindahan panas masing-masing spesimen uji. Hasil dari pengukuran spesimen uji pada kelima pengujian yang telah dilakukan, dimasukkan kedalam tabel analisis untuk menghitung seberapa besar laju panas yang berpindah dari spesimen uji kepada penerima panas alat peraga selama selang waktu 20 menit. Laju perpindahan panas yang dihitung adalah laju perpindahan panas saat pengambilan data dilakukan.

Berikut ini adalah data yang harus dihitung terlebih dahulu sebelum proses analisis data dilakukan.

2. Rumus Perhitungan Laju Perpindahan Panas Radiasi

$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Dengan

- q : Laju pancaran energi radiasi suatu benda
Dalam Watt.
- F_{ϵ} : Faktor emisivitas bahan/permukaan.
- F_G : Faktor pandang/faktor geometri.
- A_1 : Luas permukaan pancaran m²
- T_1 : Suhu mutlak permukaan pancaran material spesimen uji dalam °K.
- T_2 : Suhu mutlak permukaan penerima pancaran (benda hitam) dalam °K.
- σ : Konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai
5,67 x 10⁻⁸ watt/m² K⁴.

3. Faktor Emisivitas (ϵ) Bahan pada Suhu Penelitian 150 °C (Koestoer, 2002: 286)

No.	Bahan/Permukaan	Emisivitas (ϵ)
1	Aluminium	0,073
2	Kuningan	0,097
3	<i>Stainless Steel</i>	0,230

4. Luas Permukaan Pancaran Spesimen Uji (A_1)

Diameter pancaran spesimen uji (D) : 16 cm = 0,16 m

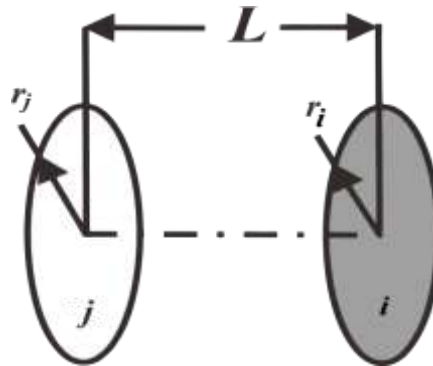
$$\begin{aligned} \text{Luas Permukaan} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= (0,25) \cdot (3,14) \cdot (0,16 \text{ m})^2 \\ &= 0,02 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi, luas permukaan pancarannya adalah 0,02 m².

5. Faktor Geometris / Faktor Pandang (F_G)

Jari-Jari Spesimen Uji (r_j) = Jari-jari Penerima Pancaran/Benda Hitam (r_i) = 8 cm

Jarak Pengujian (L) = 4 cm.



$$r_i = r_j = r \rightarrow R = \frac{r}{L} = \frac{8 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} = 2$$

$$F_G = F_{12} \rightarrow F_{21}$$

$$\begin{aligned} F_G &= 1 + \frac{1 - \sqrt{4R^2 + 1}}{2R^2} \\ &= 1 + \frac{1 - \sqrt{4 \cdot 2^2 + 1}}{2 \cdot 2^2} \\ &= 1 + \frac{1 - \sqrt{17}}{8} \\ &= 1 + \frac{1 - 4,123}{8} \\ &= 1 + \frac{-3,123}{8} \\ &= 1 - 0,390 \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

Jadi, Faktor Geometris dari spesimen uji ke benda hitam (penerima pancaran) adalah sebesar 0,61.

Maka, hasil laju perpindahan panas sebagai berikut (sebagai contoh pada material aluminium pada pengujian ke-1, 0 menit)

Diketahui,

Faktor emisivitas (F_e) : 0,73

Faktor geometris (F_G) : 0,61

Luas Permukaan Pancaran (A_1) : 0,02 m²

Konstanta Stefan-Boltzmann (σ) = 5,67 x 10⁻⁸ watt/m² K⁴.

Suhu Mutlak Pemancar panas spesimen uji (T_1) = 148,3 °C = 421,3 °K

Suhu Mutlak Penerima panas benda hitam (T_2) = 30 °C = 303 °K

$$q = F_e F_G \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

$$q = 0,073 \cdot 0,61 \cdot 5,67 \times \frac{10^{-8} \text{Watt}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 0,02 \text{m}^2 \cdot \{(421,3 \text{K})^4 - (303 \text{K})^4\}$$

$$q = 0,0008906 \cdot 5,67 \times \frac{10^{-8} \text{Watt}}{\text{K}^4} \cdot (23075117509 \text{K}^4)$$

$$q = 5,05 \times 10^{-11} \cdot 23075117509 \text{ Watt}$$

$$q = 1,17 \text{ Watt}$$

Hasil dari perhitungan/data emisivitas, luas penampang dan faktor geometris kemudian dimasukkan kedalam tabel analisis perhitungan laju perpindahan panas.

**ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA SPESIMEN UJI
DENGAN VARIASI BEDA PERLAKUAN PERMUKAAN DATA PENGUJIAN 1**

Spesimen Uji	: Aluminium	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Aluminium)	: 0,073

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	148,3	30	421,3	303	23075117509	1,17
2	150,3	30,8	423,3	303,8	23588244414	1,20
4	150,1	31,6	423,1	304,6	23437528914	1,19
6	148,3	32,4	421,3	305,4	22804873783	1,16
8	149	33,2	422	306,2	22923265985	1,16
10	150,7	34	423,7	307	23345163179	1,18
12	149,3	34,7	422,3	307,7	22840021050	1,16
14	148,2	35,4	421,2	308,4	22428090778	1,14
16	150	36,2	423	309,2	22875339851	1,16
18	150,3	36,8	423,3	309,8	22895107815	1,16
20	148,6	37,5	421,6	310,5	22298903287	1,13

Spesimen Uji	: Kuningan	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Kuningan)	: 0,097

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	152	30	425	303	24196498144	1,63
2	150,9	30,9	423,9	303,9	23759446137	1,60
4	148,4	31,7	421,4	304,7	22914278202	1,54
6	146,9	32,5	419,9	305,5	22376799817	1,51
8	147,4	33,3	420,4	306,3	22433536020	1,51
10	149,4	34,2	422,4	307,2	22928280257	1,55
12	151,4	35	424,4	308	23442364412	1,58
14	151,5	35,8	424,5	308,8	23379088737	1,58
16	150,1	36,6	423,1	309,6	22858235989	1,54
18	147,8	37,3	420,8	310,3	22083708709	1,49
20	146,9	38,1	419,9	311,1	21720345644	1,46

Spesimen Uji : *Stainless Steel* Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (*Stainless Steel*) : 0,23

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	149	30	422	303	23285018575	3,72
2	148	30,8	421	303,8	22896108426	3,66
4	149,4	31,6	422,4	304,6	23225980791	3,71
6	150,7	32,4	423,7	305,4	23528900973	3,76
8	149,4	33,3	422,4	306,3	23032190210	3,68
10	148,1	34,1	421,1	307,1	22549776667	3,60
12	149,1	34,9	422,1	307,9	22756485380	3,64
14	150,6	35,7	423,6	308,7	23116354081	3,70
16	149,8	36,4	422,8	309,4	22791161489	3,64
18	148,2	37,2	421,2	310,2	22215043527	3,55
20	148,9	37,9	421,9	310,9	22340935610	3,57

ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA SPESIMEN UJI DENGAN VARIASI BEDA PERLAKUAN PERMUKAAN DATA PENGUJIAN 2

Spesimen Uji : Aluminium Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (Aluminium) : 0,073

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	150,1	30	423,1	303	23616980084	1,20
2	148,3	30,9	421,3	303,9	22974525176	1,17
4	149,2	31,7	422,2	304,7	23154421292	1,17
6	150,4	32,6	423,4	305,6	23414911946	1,19
8	148,6	33,4	421,6	306,4	22780204941	1,16
10	148,7	34,3	421,7	307,3	22706179178	1,15
12	150,6	35,1	423,6	308,1	23186751180	1,18
14	149,6	35,9	422,6	308,9	22789833920	1,16
16	148,4	36,6	421,4	309,6	22346295301	1,13
18	149,9	37,4	422,9	310,4	22702355053	1,15
20	150,2	38,1	423,2	311,1	22709189833	1,15

Spesimen Uji : Kuningan Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (Kuningan) : 0,097

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	148	30	421	303	22985479600	1,55
2	148,8	30,9	421,8	303,9	23124347810	1,56
4	150,6	31,7	423,6	304,7	23577968938	1,59
6	150	32,6	423	305,6	23293640918	1,57
8	148,1	33,5	421,1	306,5	22619083766	1,52
10	148,5	34,4	421,5	307,4	22634615408	1,53
12	150,6	35,2	423,6	308,2	23175046851	1,56
14	150,4	36	423,4	309	23020236707	1,55
16	148,6	36,8	421,6	309,8	22382439338	1,51
18	148,2	37,5	421,2	310,5	22179173096	1,50
20	150,1	38,3	423,1	311,3	22654772184	1,53

Spesimen Uji : *Stainless Steel* Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (*Stainless Steel*) : 0,23

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	150,7	30	423,7	303	23799144699	3,80
2	148,3	30,9	421,3	303,9	22974525176	3,67
4	146,9	31,9	419,9	304,9	22445028227	3,59
6	147,8	32,7	420,8	305,7	22621351949	3,62
8	150,1	33,7	423,1	306,7	23197669035	3,71
10	151,3	34,5	424,3	307,5	23470092916	3,75
12	150,8	35,4	423,8	308,4	23212454666	3,71
14	149,0	36,2	422	309,2	22573663866	3,61
16	147,4	37	420,4	310	22000460252	3,52
18	147,9	37,8	420,9	310,8	22053624470	3,53
20	149,9	38,5	422,9	311,5	22570065448	3,61

**ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA SPESIMEN UJI
DENGAN VARIASI BEDA PERLAKUAN PERMUKAAN DATA PENGUJIAN 3**

Spesimen Uji : Aluminium Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (Aluminium) : 0,073

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	149,5	30	422,5	303	23435588808	1,19
2	148,4	30,6	421,4	303,6	23038077323	1,17
4	150,4	31,4	423,4	304,4	23551101073	1,19
6	149,9	32,1	422,9	305,1	23320317731	1,18
8	148,2	32,9	421,2	305,9	22717864335	1,15
10	149,2	33,6	422,2	306,6	22937405675	1,16
12	150,6	34,3	423,6	307,3	23279976354	1,18
14	148,9	35	421,9	308	22684682664	1,15
16	148,4	35,7	421,4	308,7	22452663345	1,14
18	150,4	36,4	423,4	309,4	22972939160	1,17
20	150,0	37	423	310	22780377041	1,16

Spesimen Uji : Kuningan Set Value Spesimen : 150° C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima : 30° C
 Jarak Spesimen : 4 cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : 0° Emisivitas (Kuningan) : 0,097

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	149,4	30	422,4	303	23405431960	1,58
2	148	30,9	421	303,9	22884887267	1,54
4	149	31,8	422	304,8	23082936215	1,56
6	150,7	32,6	423,7	305,6	23506091058	1,58
8	150	33,6	423	306,6	23178917748	1,56
10	148,2	34,4	421,2	307,4	22544849734	1,52
12	148,7	35,2	421,7	308,2	22601249675	1,52
14	150,6	36	423,6	309	23081001253	1,56
16	150,3	36,8	423,3	309,8	22895107815	1,54
18	148,5	37,6	421,5	310,6	22256958831	1,50
20	148,4	38,3	421,4	311,3	22142831497	1,49

Spesimen Uji	: <i>Stainless Steel</i>	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (<i>Stainless Steel</i>)	: 0,23

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	151,6	30	424,6	303	24073846435	3,85
2	149,5	30,9	422,5	303,9	23334996475	3,73
4	147,4	31,9	420,4	304,9	22593363096	3,61
6	147,5	32,8	420,5	305,8	22520599944	3,60
8	149,5	33,8	422,5	306,8	23004732233	3,68
10	151,5	34,7	424,5	307,7	23507962145	3,76
12	151,4	35,6	424,4	308,6	23372035771	3,74
14	149,8	36,5	422,8	309,5	22779308402	3,64
16	147,7	37,3	420,7	310,3	22053914465	3,53
18	147,5	38	420,5	311	21910448969	3,50
20	149,2	38,8	422,2	311,8	22322494342	3,57

ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA SPESIMEN UJI DENGAN VARIASI BEDA PERLAKUAN PERMUKAAN DATA PENGUJIAN 4

Spesimen Uji	: Aluminium	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Aluminium)	: 0,073

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	149,6	30	422,6	303	23465767076	1,19
2	150,2	30,8	423,2	303,8	23557915916	1,20
4	149,4	31,6	422,4	304,6	23225980791	1,18
6	150,4	32,4	423,4	305,4	23437721861	1,19
8	149,4	33,2	422,4	306,2	23043679370	1,17
10	150,4	34	423,4	307	23253984067	1,18
12	149,3	34,8	422,3	307,8	22828362241	1,16
14	150,4	35,5	423,4	308,5	23079100898	1,17
16	149,4	36,3	422,4	309,3	22682247133	1,15
18	150,3	37	423,3	310	22871298069	1,16
20	149,7	37,7	422,7	310,7	22605951497	1,15

Spesimen Uji	: Kuningan	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Kuningan)	: 0,097

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	150	30	423	303	23586694560	1,59
2	149,1	30,8	422,1	303,8	23225718667	1,57
4	150,4	31,7	423,4	304,7	23517204393	1,59
6	149,8	32,5	422,8	305,5	23244544832	1,57
8	149,5	33,3	422,5	306,3	23062347057	1,55
10	150,4	34,1	423,4	307,1	23242404634	1,57
12	149,4	34,9	422,4	307,9	22846827500	1,54
14	150,0	35,7	423	308,7	22934318508	1,55
16	150,1	36,4	423,1	309,4	22881953657	1,54
18	149,3	37,1	422,3	310,1	22557056837	1,52
20	150,4	37,8	423,4	310,8	22805947209	1,54

Spesimen Uji	: <i>Stainless Steel</i>	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (<i>Stainless Steel</i>)	: 0,23

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	148,7	30	421,7	303	23194932957	3,71
2	150,4	31	423,4	304	23596141012	3,77
4	150,9	31,9	423,9	304,9	23646623796	3,78
6	149,9	32,8	422,9	305,8	23240522122	3,72
8	148,5	33,6	421,5	306,6	22727205782	3,63
10	148,7	34,4	421,7	307,4	22694565771	3,63
12	150,3	35,2	423,3	308,2	23083932306	3,69
14	150,9	35,9	423,9	308,9	23184105314	3,71
16	150,1	36,7	423,1	309,7	22846359905	3,65
18	148,7	37,4	421,7	310,4	22340857503	3,57
20	148,8	38,2	421,8	311,2	22274793375	3,56

**ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA SPESIMEN UJI
DENGAN VARIASI BEDA PERLAKUAN PERMUKAAN DATA PENGUJIAN 5**

Spesimen Uji	: Aluminium	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Aluminium)	: 0,073

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	150,3	30	423,3	303	23677615588	1,20
2	149,5	30,8	422,5	303,8	23346217634	1,18
4	150	31,7	423	304,7	23395933365	1,19
6	149,7	32,6	422,7	305,6	23202913134	1,18
8	149,8	33,4	422,8	306,4	23141445746	1,17
10	150	34,2	423	307,2	23109542856	1,17
12	149,6	35	422,6	308	22895481061	1,16
14	150,2	35,8	423,2	308,8	22983138208	1,17
16	149,5	36,6	422,5	309,6	22676844712	1,15
18	150,3	37,3	423,3	310,3	22835496941	1,16
20	149,4	38	422,4	311	22479372600	1,14

Spesimen Uji	: Kuningan	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (Kuningan)	: 0,097

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	149,5	30	422,5	303	23435588808	1,58
2	150,3	30,9	423,3	303,9	23577023255	1,59
4	149,4	31,8	422,4	304,8	23203349600	1,56
6	150,3	32,7	423,3	305,7	23373140182	1,58
8	149,8	33,5	422,8	306,5	23129934062	1,56
10	149,6	34,3	422,6	307,3	22977013297	1,55
12	150,2	35,1	423,2	308,1	23065308137	1,56
14	149,3	35,9	422,3	308,9	22699363368	1,53
16	150,3	36,6	423,3	309,6	22918871492	1,55
18	149,8	37,4	422,8	310,4	22672112461	1,53
20	149,6	38,1	422,6	311,1	22527669819	1,52

Spesimen Uji	: <i>Stainless Steel</i>	Set Value Spesimen	: 150° C
Lama Waktu	: 20 menit	Suhu Awal Penerima	: 30° C
Jarak Spesimen	: 4 cm	Kec. Perisai Udara	: --
Sudut	: 0°	Emisivitas (<i>Stainless Steel</i>)	: 0,23

Waktu	Suhu Pemancar T ₁ (°C)	Suhu Penerima T ₂ (°C)	Suhu Mutlak T ₁ (°K)	Suhu Mutlak T ₂ (°K)	Selisih Suhu T ₁ ⁴ - T ₂ ⁴ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0	150,3	30	423,3	303	23677615588	3,79
2	148,9	31	421,9	304	23143144104	3,70
4	149,1	31,9	422,1	304,9	23101675167	3,69
6	150,6	32,8	423,6	305,8	23452821748	3,75
8	150,6	33,6	423,6	306,6	23360953321	3,73
10	149,3	34,5	422,3	307,5	22863304590	3,66
12	149	35,3	422	308,3	22679619566	3,63
14	150,3	36,1	423,3	309,1	22978079526	3,67
16	150,8	36,9	423,8	309,9	23035173925	3,68
18	149,7	37,7	422,7	310,7	22605951497	3,61
20	149,0	38,4	422	311,4	22310737914	3,57

**RERATA HASIL BESAR LAJU PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI
DENGAN VARIASI SPESIMEN UJI**

Spesimen Uji : Aluminium
Lama Waktu : 20 menit
Jarak Spesimen: 4 cm
Sudut : 0°

Set Value Spesimen : 150° C
Suhu Awal Penerima : 30° C
Kec. Perisai Udara : --

Waktu	Laju Perpindahan Panas (Watt)					
	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Rerata
0	1,17	1,20	1,19	1,19	1,20	1,19
2	1,20	1,17	1,17	1,20	1,18	1,184
4	1,19	1,17	1,19	1,18	1,19	1,184
6	1,16	1,19	1,18	1,19	1,18	1,18
8	1,16	1,16	1,15	1,17	1,17	1,162
10	1,18	1,15	1,16	1,18	1,17	1,168
12	1,16	1,18	1,18	1,16	1,16	1,168
14	1,14	1,16	1,15	1,17	1,17	1,158
16	1,16	1,13	1,14	1,15	1,15	1,146
18	1,16	1,15	1,17	1,16	1,16	1,16
20	1,13	1,15	1,16	1,15	1,14	1,146

Spesimen Uji : Kuningan
Lama Waktu : 20 menit
Jarak Spesimen: 4 cm
Sudut : 0°

Set Value Spesimen : 100° C
Suhu Awal Penerima : 30° C
Kec. Perisai Udara : --

Waktu	Laju Perpindahan Panas (Watt)					
	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Rerata
0	1,63	1,55	1,58	1,59	1,58	1,586
2	1,60	1,56	1,54	1,57	1,59	1,572
4	1,54	1,59	1,56	1,59	1,56	1,568
6	1,51	1,57	1,58	1,57	1,58	1,562
8	1,51	1,52	1,56	1,55	1,56	1,54
10	1,55	1,53	1,52	1,57	1,55	1,544
12	1,58	1,56	1,52	1,54	1,56	1,552
14	1,58	1,55	1,56	1,55	1,53	1,554
16	1,54	1,51	1,54	1,54	1,55	1,536
18	1,49	1,50	1,50	1,52	1,53	1,508
20	1,46	1,53	1,49	1,54	1,52	1,508

Spesimen Uji : *Stainless Steel*

Set Value Spesimen : 150° C

Lama Waktu : 20 menit

Suhu Awal Penerima : 30° C

Jarak Spesimen: 4 cm

Kec. Perisai Udara : --

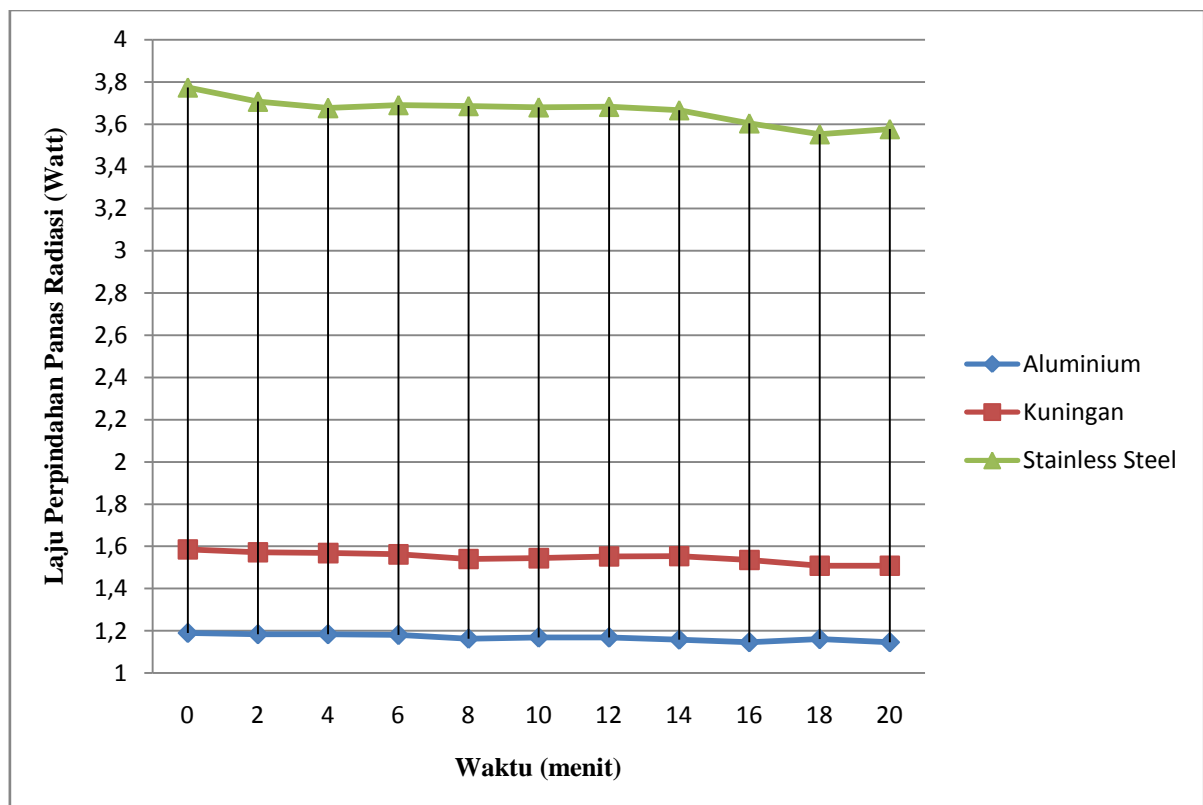
Sudut : 0°

Waktu	Laju Perpindahan Panas (Watt)					
	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Rerata
0	3,72	3,80	3,85	3,71	3,79	3,774
2	3,66	3,67	3,73	3,77	3,70	3,706
4	3,71	3,59	3,61	3,78	3,69	3,676
6	3,76	3,62	3,60	3,72	3,75	3,69
8	3,68	3,71	3,68	3,63	3,73	3,686
10	3,60	3,75	3,76	3,63	3,66	3,68
12	3,64	3,71	3,74	3,69	3,63	3,682
14	3,70	3,61	3,64	3,71	3,67	3,666
16	3,64	3,52	3,53	3,65	3,68	3,604
18	3,55	3,53	3,50	3,57	3,61	3,552
20	3,57	3,61	3,57	3,56	3,57	3,576

**REKAPITULASI RERATA LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA SPESIMEN
UJI DENGAN VARIASI MATERIAL**

Waktu	Laju Perpindahan Panas (Watt)		
	Aluminium	Kuningan	<i>Stainless Steel</i>
0	1,19	1,586	3,774
2	1,184	1,572	3,706
4	1,184	1,568	3,676
6	1,18	1,562	3,69
8	1,162	1,54	3,686
10	1,168	1,544	3,68
12	1,168	1,552	3,682
14	1,158	1,554	3,666
16	1,146	1,536	3,604
18	1,16	1,508	3,552
20	1,146	1,508	3,576
Rerata	1,168	1,548	3,663

**GRAFIK RERATA LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI DENGAN VARIASI
MATERIAL SPESIMEN UJI**



RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)



Disusun oleh :

Nama : Riwan Setiarso
NIM. : 5201410030
Prodi : PTM, S1

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2014

RENCANA PELAKSANAAN PEMBELAJARAN (RPP)

A. Identitas

Nama Institusi	: Universitas Negeri Semarang
Program Pendidikan	: Pendidikan Teknik Mesin, S1
Mata Kuliah	: Perpindahan Kalor Dasar
Semester	: Gasal
Standar Kompetensi	: Perpindahan Panas secara Radiasi
Kompetensi Dasar	: Menjelaskan pengertian, proses, dan menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi
Indikator	: - Mahasiswa memahami prinsip perpindahan panas secara radiasi beserta perhitungannya
Alokasi Waktu	: 1 x 90 menit (2 sks)

B. Tujuan Pembelajaran

1. Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip perpindahan panas secara radiasi dengan benar beserta perhitungannya.

C. Materi Pembelajaran

1. Penjelasan prinsip perpindahan panas secara radiasi beserta perhitungannya.

D. Metode Pembelajaran

1. Ceramah.
2. Demonstrasi.

E. Kegiatan Pembelajaran

No.	Kegiatan Pembelajaran	Waktu
1.	Kegiatan Awal <ol style="list-style-type: none"> Membuka pelajaran dengan salam Presensi kehadiran mahasiswa Pemberian motivasi <ul style="list-style-type: none"> Menyampaikan pengertian dan jenis – jenis perpindahan panas. Mahasiswa diminta untuk menyebutkan contoh jenis perpindahan panas dalam kehidupan nyata. Menyampaikan tujuan pembelajaran 	5 menit
2.	Kegiatan Inti <ol style="list-style-type: none"> Menyebutkan contoh dari perpindahan panas secara radiasi. Menjelaskan pengertian perpindahan panas secara radiasi. Menjelaskan prinsip perpindahan panas secara radiasi. Menjelaskan perhitungan besar laju perpindahan panas 	20 menit

	secara radiasi. e. Mendemonstrasikan perpindahan panas secara radiasi menggunakan media belajar. f. Mendiskusikan besar laju perpindahan panas secara radiasi. g. Mengklarifikasi apa yang telah dipelajari, dengan meminta mahasiswa untuk menjelaskan prinsip perpindahan panas secara radiasi dan menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi.	
3.	Kegiatan Penutup a. Mengevaluasi pemahaman mahasiswa dengan tes tertulis. b. Mengungkapkan kesan pembelajaran c. Menutup pelajaran dengan salam	5 menit

F. Alat Pembelajaran

- a. Laptop dan LCD.
- b. White Board dan Spidol.
- c. Alat Peraga Perpindahan Panas secara Radiasi.

G. Sumber Pembelajaran

- a. Modul Perpindahan Panas Radiasi
- b. Presentasi.
- c. Buku Perpindahan Panas

H. Penilaian

- a. Teknik evaluasi
 - Tes obyektif
- b. Instrumen evaluasi
 - Tes tertulis dalam bentuk pilihan ganda dan uraian

Semarang, November 2014

Mengetahui,
Dosen Pengampu Mata Kuliah

Mahasiswa Praktikan

Drs. M. Burhan Rubai Wijaya, M.Pd.
NIP. 196302131988031001

Riwan Setiarso
NIM. 5201410030

Lampiran 1

PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN

Mata Kuliah : Perpindahan Kalor Dasar
 Semester : Gasal
 Standar kompetensi : Perpindahan Panas secara Radiasi

Kompetensi Dasar	Indikator	Media	Alasan
a) Menjelaskan prinsip dasar perpindahan panas secara radiasi.	Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip dasar perpindahan panas secara radiasi.	Presentasi Power Point, Modul, dan Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi	Mahasiswa lebih tertarik dengan media belajar sehingga termotivasi untuk memahami prinsip dasar perpindahan panas secara radiasi, sifat-sifat radiasi, dan menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi.
b) Menjelaskan sifat-sifat radiasi pada perpindahan panas.	Mahasiswa dapat menjelaskan sifat-sifat radiasi pada perpindahan panas.		
c) Menghitun besar laju perpindahan panas secara radiasi.	Mahasiswa dapat menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi.		

Lampiran 2

KISI-KISI SOAL (ALAT EVALUASI)

Mata Kuliah : Perpindahan Kalor Dasar
 Semester : Gasal
 Standar kompetensi : Perpindahan Panas secara Radiasi

Kompetensi Dasar	Indikator	Jenis	Bentuk	Ranah	Nomor Soal
a) Menjelaskan prinsip dasar perpindahan panas secara radiasi.	a) Mahasiswa dapat menjelaskan prinsip dasar perpindahan panas secara radiasi.	Tertulis	Pilihan Ganda	C1	1 - 5
b) Menjelaskan sifat- sifat radiasi pada perpindahan panas.	b) Mahasiswa dapat menjelaskan sifat- sifat radiasi pada perpindahan panas.	Tertulis	Pilihan Ganda	C2	6 - 10
c) Menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi.	c) Mahasiswa dapat menghitung besar laju perpindahan panas secara radiasi.	Tertulis	Uraian	C2	1

Skor Penilaian Tes Tertulis

No.	ASPEK PENILAIAN	NILAI MAKS	NILAI PEROLEHAN (X1)	KETERANGAN
1.	Soal No.1 sampai No. 10 pilihan ganda	10		Syarat lulus, nilai minimal 65
2.	Soal No.2 Diuraikan dengan benar dan tepat	10		
Jumlah Skor		20		
Nilai = Jumlah Skor x 5		20 x 5 = 100		

Lampiran 3

SOAL LATIHAN DAN JAWABAN**A. Soal Pilihan Ganda**

1. Bentuk perpindahan panas ada tiga macam, yaitu...
 - a. Radiasi, transmisi, dan absorpsi
 - b. Radiasi, transmisi, dan refleksi
 - c. Radiasi, konduksi, dan refleksi
 - d. Konveksi, radiasi, dan absorpsi
 - e. Konveksi, radiasi, dan konduksi

2. Salah satu contoh dari perpindahan panas secara radiasi adalah sebagai berikut, kecuali...
 - a. Mendekatkan tangan pada nyala lilin
 - b. Panas matahari yang terpancar ke bumi
 - c. *Microwave* yang sedang beroperasi
 - d. Memanaskan logam dengan api
 - e. Mendekatkan tangan ke perapian yang menyala

3. Radiasi merupakan salah satu cabang bentuk perpindahan panas secara...
 - a. Sentuhan
 - b. Aliran
 - c. Hembusan
 - d. Hantaman
 - e. Pancaran

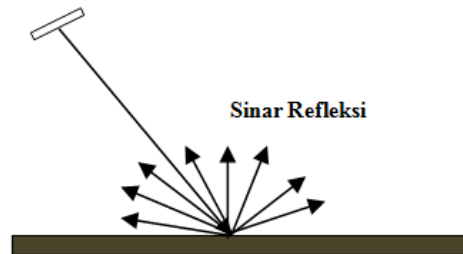
4. Benda yang dapat dikatakan sebagai radiator ideal adalah...
 - a. Benda nyata
 - b. Benda tak nyata
 - c. Benda abu – abu
 - d. Benda hitam
 - e. Benda kasat mata

5. Radiasi termal diukur dengan spektrum elektromagnetik terletak pada kisaran...
 - a. 0,4 sampai 0,7 μm
 - b. 0,1 sampai 100 μm
 - c. 7 sampai 10 μm
 - d. 1 sampai 100 μm
 - e. 0,01 sampai 10 μm

6. Menurut Holman, ada tiga sifat radiasi yaitu...
 - a. Spekular, absorpsi, dan transmisi

- b. Spekular, absorpsi, dan refleksi
 - c. Absorpsi, refleksi, dan transmisi
 - d. Absorpsi, refleksi, dan konduksi
 - e. Absorpsi, transmisi, dan konveksi
7. Dilihat dari banyaknya energi yang diserap, bendadapat kita bagi menjadi tiga, yaitu benda hitam, benda putih sempurna, dan benda abu – abu. Yang dimaksud dengan benda abu – abu adalah...
- a. Benda yang dapat menyerap semua energi yang menyimpannya
 - b. Benda yang dapat meneruskan semua energi yang menyimpannya
 - c. Benda yang dapat memantulkan semua energi yang menyimpannya
 - d. Benda yang sebagian menyerap dan sebagian memantulkan energi yang menyimpannya
 - e. Benda yang sebagian meneruskan dan memantulkan energi yang menyimpannya

8. Sumber



Perhatikan gambar di samping!

Gambar di samping merupakan bentuk refleksi...

- a. Baur
 - b. Turbulen
 - c. Laminar
 - d. Spekular
 - e. Diagonal
9. Benda hitam merupakan penyerap dan pemancar radiasi yang ideal. Nilai emisivitas dari benda hitam adalah...
- a. $\epsilon = 1$
 - b. $\epsilon = 0,1$
 - c. $\epsilon = 0,01$
 - d. $\epsilon = 10$
 - e. $\epsilon = 100$
10. Sifat radiasi yang memantulkan disebut...
- a. Transmisi
 - b. Konduksi
 - c. Konveksi
 - d. Refleksi
 - e. Absorpsi

B. Uraian

Petunjuk : Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas pada lembar jawab!

1. Diketahui sebuah piringan aluminium jari – jari 8 cm dengan suhu yang dijaga konstan sebesar 200° C. Piringan tersebut dihadapkan sejajar dengan piringan yang dianggap sebagai benda hitam. Berapa besar energi radiasi yang dipancarkan oleh piringan aluminium? (Nilai emisivitas aluminium = 0,07)

KUNCI JAWABAN SOAL

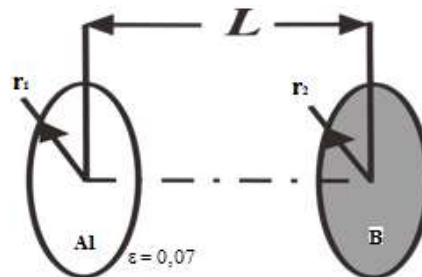
A. Pilihan Ganda

1.	A	B	C	D	E
2.	A	B	C	D	E
3.	A	B	C	D	E
4.	A	B	C	D	E
5.	A	B	C	D	E

6.	A	B	C	D	E
7.	A	B	C	D	E
8.	A	B	C	D	E
9.	A	B	C	D	E
10.	A	B	C	D	E

B. Uraian

1. Diketahui:



$$R_1 = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$$

$$T_1 = 200 + 273 = 473 \text{ K}$$

$$\epsilon_1 = 0,07$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Ditanyakan : q_1 ?

Jawab:

$$\begin{aligned} q_1 &= \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot A_1 \cdot T_1^4 \\ &= (0,07) \cdot (5,67 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot (3,14) \cdot (0,08 \text{ m})^2 \cdot (473 \text{ K})^4 \\ &= (0,07) \cdot (5,67 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \cdot \text{K}^4) \cdot (0,02 \text{ m}^2) \cdot (5,00 \times 10^{10} \text{ K}^4) \\ &= 3,97 \text{ W} \end{aligned}$$

**ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI SEBAGAI
MEDIA PEMBELAJARAN PERPINDAHAN PANAS**

**MODUL
PERPINDAHAN PANAS RADIASI**



**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2014**

BAB I. PENDAHULUAN

1. Deskripsi

Modul berjudul “Perpindahan Panas Radiasi” yang dibuat untuk digunakan sebagai bahan pembelajaran materi perpindahan panas secara radiasi yang disampaikan pada mata kuliah perpindahan kalor dasar di Universitas Negeri Semarang dalam rangka penelitian skripsi dengan topik alat peraga perpindahan panas secara radiasi sebagai media pembelajaran. Materi yang disajikan dalam modul ini berupa materi perpindahan panas radiasi dasar yaitu mengenai pengertian radiasi termal, sifat-sifat dari radiasi panas, radiasi benda hitam serta fenomena radiasi yang terjadi pada benda-benda nyata.

Modul ini digunakan sebagai media pembelajaran perpindahan panas bersama dengan penggunaan alat peraga yang menjelaskan tentang proses perpindahan panas secara radiasi. Akhir bagian dari modul ini, terdapat beberapa soal latihan yang digunakan sebagai latihan untuk mengecek pemahaman mahasiswa dalam pembelajaran perpindahan panas secara radiasi.

2. Petunjuk Penggunaan Modul

a. Bagi Peserta Didik

Memperoleh hasil belajar yang maksimal dalam mempelajari modul ini, langkah-langkah yang perlu dilaksanakan adalah:

- 1) Baca dan pahami setiap uraian materi dari modul ini dengan seksama dari awal sampai dengan akhir bab.
- 2) Tanyakanlah kepada dosen/pengajar apabila terdapat beberapa materi yang belum dipahami dalam mempelajari modul ini.
- 3) Kerjakanlah soal-soal latihan pada akhir bab pada modul ini dengan baik. Hasil dari soal tersebut menunjukkan tingkat pemahaman peserta didik terhadap materi yang telah disampaikan dalam modul ini.
- 4) Pelajari kembali isi modul ini apabila terdapat hal-hal yang belum dipahami dan dimengerti pada uraian materi.

b. Bagi Pengajar

Peran pengajar dalam pembelajaran dengan modul ini adalah:

- 1) Membimbing peserta didik dalam memahami materi konsep-konsep dasar perpindahan panas secara radiasi yang disampaikan pada modul ini.
- 2) Membantu peserta didik dengan menjawab pertanyaan tentang hal-hal yang belum dipahami dalam proses pembelajaran.
- 3) Menyampaikan isi materi modul dengan bantuan alat peraga perpindahan panas secara radiasi.
- 4) Mendampingi peserta didik untuk menjawab soal-soal latihan yang ada pada modul ini.
- 5) Melakukan evaluasi terhadap pemahaman peserta didik dalam proses belajar.

3. Tujuan Akhir

Tujuan akhir yang ingin dicapai dalam mempelajari modul ini adalah:

- 1) Peserta didik mampu memahami pengertian perpindahan panas secara radiasi.
- 2) Peserta didik mengerti sifat-sifat radiasi yang terjadi pada suatu benda.
- 3) Peserta didik memahami hukum Stefan-Boltzmann serta radiasi yang terjadi pada benda hitam.
- 4) Peserta didik dapat memahami hal-hal yang dapat mempengaruhi laju perpindahan panas secara radiasi.
- 5) Peserta didik mampu menganalisis laju perpindahan panas secara radiasi yang terjadi pada benda hitam.

BAB II. PEMBELAJARAN

A. Materi

Kompetensi Dasar	Materi Belajar	Kegiatan	Media
1. Memahami proses perpindahan panas secara radiasi beserta perhitungannya.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pengertian radiasi. ✓ Sifat-sifat radiasi. ✓ Radiasi benda hitam. ✓ Emisivitas Benda. ✓ Hukum Stefan-Boltzmann. ✓ Perhitungan laju perpindahan panas radiasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Penyajian materi. • Demonstrasi/Peragaan. • Tanya Jawab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modul. • Komputer, LCD proyektor dan perlengkapannya. • Papan tulis dan spidol. • Alat peraga perpindahan panas radiasi.

B. Kegiatan Belajar

1. Standar Kompetensi

- a) Memahami proses perpindahan panas secara radiasi beserta perhitungannya.

2. Tujuan Pembelajaran

Setelah melakukan kegiatan pembelajaran ini diharapkan mahasiswa peserta didik dapat:

- a) Memahami prinsip perpindahan panas secara radiasi dengan benar.
- b) Mengerti sifat-sifat radiasi pada benda hitam dan benda nyata.
- c) Mengerti prinsip hukum Stefan-Boltzmann.
- d) Melakukan perhitungan besar laju perpindahan panas secara radiasi dengan benar.

3. Uraian Materi

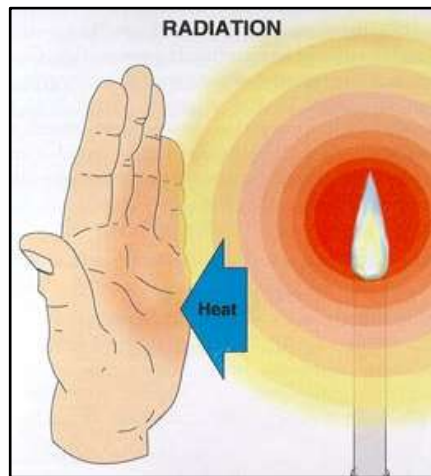
PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik. Menurut Kreith (1986: 4) perpindahan panas didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut.

Bentuk perpindahan panas ada tiga macam, yaitu perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas yang menggunakan benda padat sebagai media perantara. Konveksi, yaitu bentuk perpindahan panas yang menggunakan zat alir sebagai media perantara. Radiasi, yaitu bentuk perpindahan panas yang tidak membutuhkan media perantara karena panas berpindah dengan pancaran.

A. Radiasi

Radiasi merupakan salah satu bentuk dari perpindahan panas yang tidak menggunakan media perantara. Perpindahan panas radiasi terjadi dengan cara pancaran melalui gelombang elektromagnet. Radiasi yang dibahas dalam teori perpindahan panas atau radiasi termal (*thermal radiation*) hanya salah satu bentuk dari jenis radiasi elektromagnetik. Panas matahari dapat sampai ke bumi melalui proses perpindahan panas secara radiasi. Padahal, seperti yang kita tahu jarak antara matahari dan bumi terpisah sangat jauh dan terdapat ruang hampa udara. Hal tersebut tidaklah mengherankan, karena panas yang berpindah melalui radiasi melaju melalui gelombang elektromagnetik dengan kecepatan cahaya, sehingga tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Coba kamu dekatkan tanganmu pada lilin yang menyala! Apakah kamu merasakan panas dari api tersebut? Mengapa demikian?



Gambar 1. Radiasi panas dari lilin yang menyala

Radiasi selalu merambat dengan kecepatan cahaya, 3×10^{10} cm/s. Kecepatan ini sama dengan hasil perkalian panjang-gelombang dengan frekuensi radiasi,

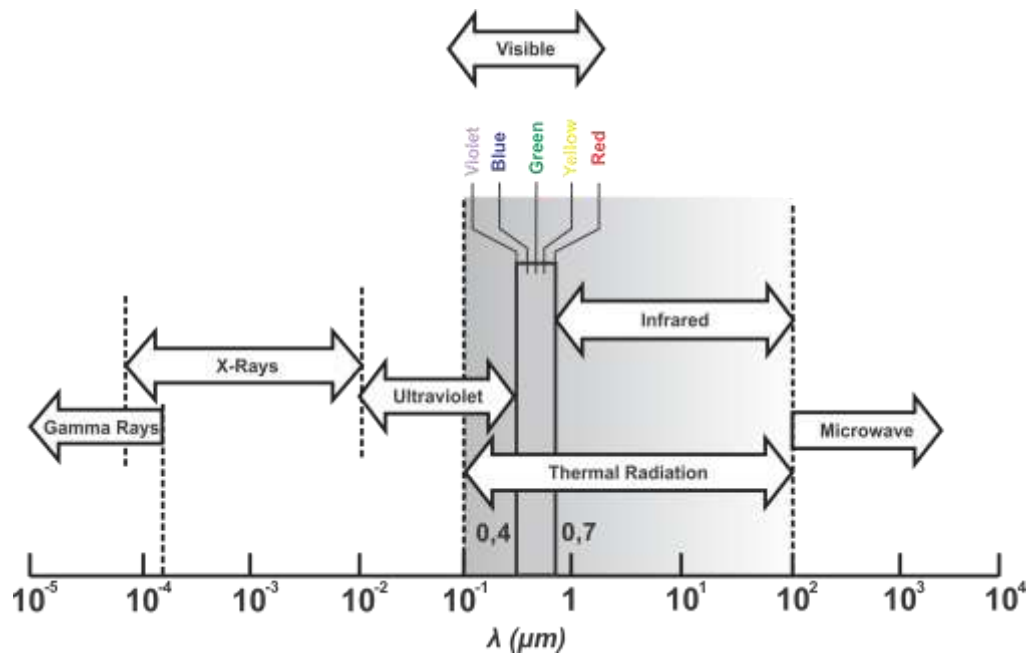
$$c = \lambda \nu$$

Di mana c = kecepatan cahaya (m/s)

λ = panjang gelombang (μm)

ν = frekuensi(Hz)

Satuan λ yang digunakan adalah mikrometer ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$). Pada gambar 1 diperlihatkan sebagian dari spektrum elektromagnetik. Radiasi termal terletak dalam rentang antara 0,1 sampai 100 μm , sedangkan bagian cahaya tampak dalam spektrum itu sangat sempit, yaitu terletak antara kira-kira 0,4 sampai 0,7 μm .



Gambar 2. Spektrum elektromagnetik
Sumber: (Incropera dkk., 1987: 726)

Perambatan radiasi ini berlangsung dalam bentuk kuantum-kuantum yang diskrit dengan setiap kuantum mengandung energi sebesar,

$$E = h\nu$$

Di mana E = Energi (J)

h = Konstanta Planck = $6,625 \times 10^{-34}$ J. s.

ν = frekuensi (Hz)

Holman (1986: 342) menjelaskan bahwa gambaran fisis yang amat kasar tentang perambatan radiasi kita peroleh dengan menganggap setiap kuantum sebagai suatu partikel yang mempunyai energi, massa, dan momentum, seperti halnya molekul gas. Jadi, radiasi dapat digambarkan sebagai gas foton (*photon gas*) yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Dengan menggunakan relativistik antara massa dan energi, dapatlah kita turunkan persamaan untuk massa energi partikel itu yaitu,

$$E = mc^2 = h\nu$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

$$\text{momentum} = c \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h\nu}{c}$$

Dengan menganggap radiasi demikian suatu gas, maka dapatlah kita terapkan prinsip termodinamika statistik-kuantum untuk menurunkan persamaan densitas energi radiasi per satuan volume dan per satuan panjang-gelombang sebagai :

$$u_\lambda = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

di mana k ialah konstanta Boltzman, $1,38066 \times 10^{-23}$ J/mol.K. Bila densitas energi kita integrasikan sepanjang seluruh panjang-gelombang, maka energi total yang dipancarkan sebanding dengan pangkat empat suhu absolut :

$$E_b = \sigma T^4$$

Dimana E_b = Energi radiator ideal (*black body*) (W/m²)

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann (W/m².K⁴)

T = Suhu (°K)

Persamaan di atas disebut hukum Stefan-Boltzmann, E_b ialah energi yang diradiasikan per satuan waktu dan per satuan luas radiator ideal, dan σ ialah konstanta Stefan-Boltzmann, yang nilainya

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \quad [0,1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4]$$

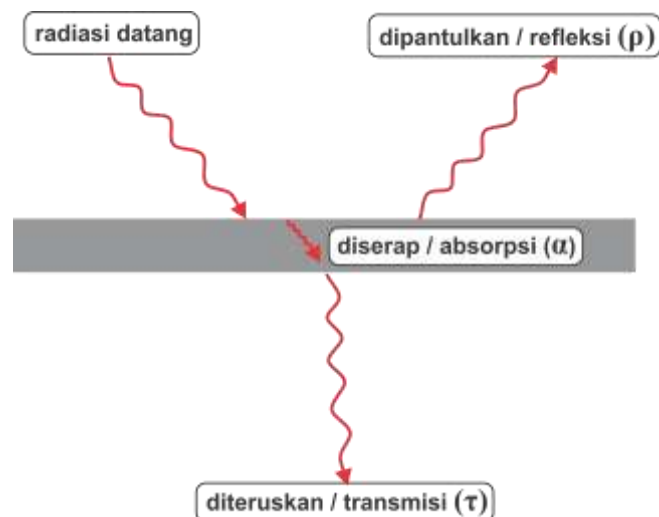
dimana E_b dalam watt per meter persegi, dan T adalah derajat K.

Perlu diketahui bahwa persamaan tersebut merupakan persamaan radiasi untuk benda hitam sempurna. Hal ini kita sebut radiasi benda hitam (*blackbody*)

radiation), karena bahan yang mematuhi hukum tersebut tampak hitam dimata dan menyerap seluruh radiasi yang mengenai permukaannya. Penting dicatat di sini bahwa kehitaman suatu permukaan terhadap radiasi termal tidak hanya diamati melalui pengamatan visual saja, tetapi juga hitam bagi spektrum radiasi termal. Kehitaman bagi spektrum radiasi termal yang dimaksudkan yaitu benda yang memiliki emisivitas tinggi (mendekati 1), meskipun secara fisik mungkin tidak berwarna hitam. Sebagai contoh, permukaan yang ditutup jelaga tampak hitam bagi mata kita, ternyata juga hitam bagi spektrum radiasi termal. Sedangkan, salju dan es tampak terang bagi mata, tapi ternyata hitam untuk radiasi termal panjang-gelombang panjang. Banyak cat putih sebenarnya hitam untuk panjang-gelombang panjang.

B. Sifat-Sifat Radiasi

Menurut Holman (1986: 343), bila energi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi) dan sebagian lagi diteruskan (transmisi).



Gambar 3. Fenomena radiasi yang mengenai permukaan benda
Sumber : (Holman, 1986: 343)

Jika fraksi yang dipantulkan dinamakan reflektivitas (ρ), fraksi yang diserap absorptivitas (α), dan fraksi yang diteruskan dinamakan transmittivitas

(τ). Maka,

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

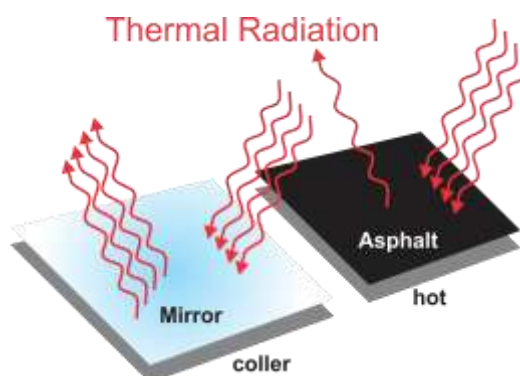
Dilihat dari banyaknya energi yang diserap dan dipantulkan, maka suatu benda bisa dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Benda yang dapat menyerap semua energi radiasi yang menimpanya. Benda ini kita sebut dengan benda hitam (*blackbody*) dimana $\alpha = 1$; $\rho = 0$; $\tau = 0$.
2. Benda yang memantulkan semua energi radiasi yang datang menimpanya. Benda ini kita sebut dengan benda putih sempurna (*absolutely white*), dimana $\alpha = 0$; $\rho = 1$; $\tau = 0$.
3. Benda yang sebagian menyerap dan sebagian memantulkan energi yang datang menimpa permukaannya. Benda ini kita sebut dengan benda abu-abu (*greybody*). Benda-benda nyata memiliki sifat yang hampir sama dengan benda ini dimana sebagian energi yang datang menimpanya akan diserap, dan sebagiannya lagi akan dipantulkan ($0 < \alpha < 1$).

Kebanyakan benda padat tidak meneruskan radiasi termal, sehingga untuk kebanyakan soal-soal terapan, transmisivitas dapat dianggap nol. Sehingga berlaku persamaan berikut ini.

$$\rho + \alpha = 1$$

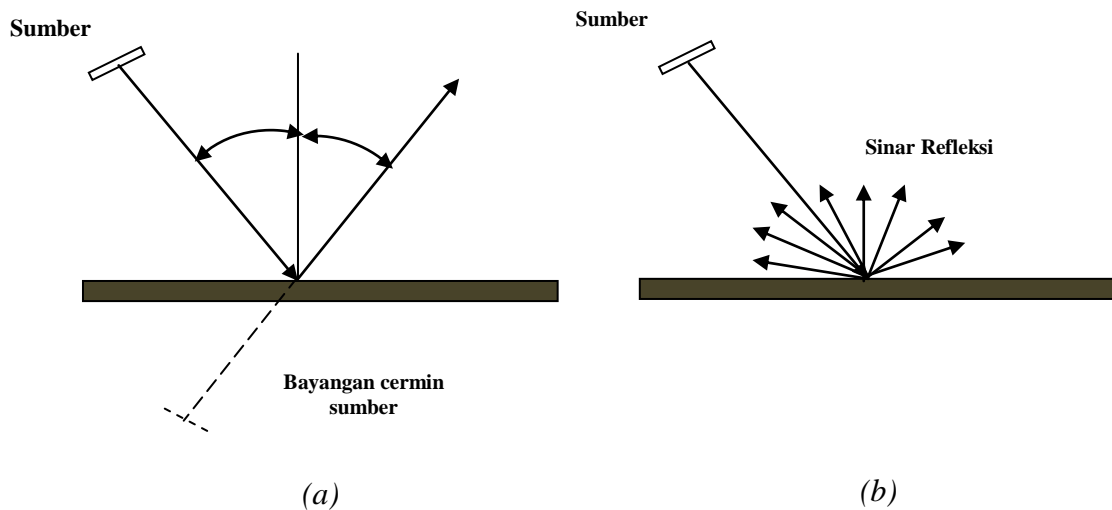
Coba perhatikan gambar berikut ini! Mengapa suhu pada aspal lebih cepat naik dari pada cermin apabila keduanya dipanasi secara bersama-sama?



Gambar 4. Penyerapan panas radiasi pada aspal dan cermin

Fenomena pada gambar tersebut terjadi karena aspal lebih banyak menyerap energi radiasi yang datang menimpa permukaannya dibandingkan dengan energi yang diserap oleh cermin. Sedangkan yang terjadi pada cermin, sebagian besar energi yang menimpa permukaannya tersebut dipantulkan kembali. Alasan itulah mengapa temperatur pada aspal lebih cepat naik jika dibandingkan dengan cermin. Beberapa hal tersebutlah yang nantinya akan menentukan emisivitas dari suatu benda yang terkena radiasi. Namun, untuk persoalan emisivitas akan kita bahas pada bahasan selanjutnya.

Ada dua fenomena refleksi yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dapat dikatakan refleksi itu spekular (*specular*). Di lain pihak, apabila berkas yang jatuh itu tersebar secara merata ke segala arah sesudah refleksi, maka itu disebut baur (*diffuse*). Biasanya permukaan yang kasar lebih menunjukkan sifat baur daripada permukaan yang mengkilap. Demikian pula, permukaan yang dipoles cenderung lebih spekular daripada permukaan kasar.



Gambar 5. (a) Refleksi spekular dan (b) refleksi baur
Sumber: (Koestoer 2002: 344)

C. Emisivitas Benda

Daya emisi (*emissive power*) E suatu benda ialah energi yang dipancarkan benda itu per satuan luas per satuan waktu. Benda hitam merupakan pemancar dan penyerap ideal, dimana semua energi yang mengenai permukaan benda hitam akan diserap. Menurut Koestoer (2002: 190), permukaan benda hitam mempunyai sifat-sifat:

1. Benda hitam menyerap semua radiasi yang disengaja (irradiasi) tanpa melihat panjang gelombang dan arah datangnya sinar (bersifat *diffuse*).
2. Pada semua temperatur dan panjang gelombang yang diijinkan, tidak ada permukaan yang dapat menghasilkan energi yang lebih banyak dari benda hitam.
3. Walaupun emisi radiasi yang dihasilkan oleh benda hitam adalah fungsi dari panjang gelombang dan temperatur, tetapi tidak tergantung kepada arah datangnya sinar.

Karena benda hitam merupakan penyerap dan pemancar radiasi yang ideal, maka untuk suhu yang sama, nilai emisivitas dan absorptivitasnya adalah

$$\epsilon = \alpha = 1$$

Dengan ϵ = emisivitas

α = absorptivitas

Namun pada kenyataannya, tidak ada satu permukaanpun yang dapat menyamai permukaan benda hitam. Karena bagaimanapun juga, setiap permukaan akan memantulkan radiasi yang diterimanya walaupun sangat kecil. Permukaan benda-benda nyata akan memancarkan radiasi lebih sedikit dari benda hitam. Karena itu, nilai emisivitas benda-benda (ϵ) nyata lebih besar dari nol dan lebih kecil dari satu ($0 < \epsilon < 1$). Nilai emisivitas permukaan benda-benda nyata, merupakan hasil dari perbandingan daya emisi benda tersebut

dengan daya emisi benda hitam pada suhu yang sama.

$$\epsilon = \frac{E}{E_b}$$

Dengan ϵ = Emisivitas benda

E = Daya emisi benda nyata

E_b = Daya emisi benda hitam

Dapat dikatakan pula bahwa fenomena yang terjadi pada benda nyata tidak ada yang bisa menyamai fenomena pada benda hitam dimana semua energi radiasi yang menimpa permukaannya diserap. Pada benda nyata, tidak semua energi tersebut diserap, tetapi sebagian ada yang dipantulkan dan sebagian lagi ada yang diteruskan. Hal tersebutlah yang mempengaruhi emisivitas suatu permukaan benda. Semakin besar energi radiasi yang diserap, semakin besar pula emisivitas benda tersebut. Begitu pula sebaliknya, semakin sedikit energi yang diserap, maka emisivitas benda tersebut biasanya semakin kecil.

Berikut ini adalah contoh tabel nilai emisivitas yang dikutip dari buku Perpindahan Panas Untuk Mahasiswa Teknik.

Tabel 1. Total normal emisivitas dari beberapa material (Koestoer, 2002:442)

Temperatur (°K)	Stainless Steel	Seng	Kuningan	Aluminium	Tembaga
398	0,227	0,1766	0,115	0,071	0,042
423	0,230	0,1401	0,097	0,073	0,044
473	0,211	0,1627	0,074	0,075	0,048
523	0,201	0,1422	0,075	0,078	0,056
573	0,209	0,1698	0,081	0,080	0,060
623	0,218	0,1790	0,070	0,083	0,060
673	0,202	0,1820	0,067	0,086	0,064
698	0,213	0,1896	0,061	0,087	0,066

D. Laju Perpindahan Panas Radiasi

Telah kita singgung di atas bahwa benda hitam adalah benda yang memancarkan energi menurut hukum T^4 . Jadi untuk benda hitam (*black body*), akan memancarkan radiasi dari permukaannya dengan laju perpindahan panas yang diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$q = \sigma A_1 T_1^4$$

- Dengan q : Laju pancaran energi radiasi benda hitam dalam Watt.(W)
- A_1 : Luas permukaan pancaran m^2 .
- T_1 : Suhu mutlak permukaan pancaran benda hitam dalam Kelvin (K).
- σ : Konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,67 \times 10^{-8}$ watt/ m^2 K^4 .

Benda-benda yang nyata (*real bodies*) atau permukaan jenis lain, seperti yang dicat mengkilap atau plat logam yang dipoles tidak memancarkan energi seperti benda hitam, akan tetapi radiasi yang dipancarkan benda-benda itu masih mengikuti proporsionalitas T^4 . Untuk memperhitungkan sifat permukaan yang demikian, kita tampilkan suatu faktor lain ke dalam persamaan, yaitu emisivitas atau kepancaran (*emissivity*) dari permukaan benda/bahan seperti yang telah kita bahas di atas.

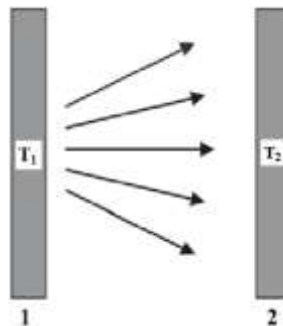
Disamping itu, harus pula kita perhitungkan kenyataan bahwa radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan. Untuk memperhitungkan situasi tersebut, maka kita tambahkan faktor baru ke persamaan, yang disebut dengan faktor pandang (*view factor*) atau faktor geometrik. Dengan demikian, maka kita dapat menghitung laju perpindahan panas radiasi dari benda nyata dengan persamaan berikut ini.

$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

- Dengan q : Laju pancaran energi radiasi benda hitam dalam Watt.
- F_{ϵ} : Faktor emisivitas bahan/permukaan.
- F_G : Faktor pandang/faktor geometri.
- A_1 : Luas permukaan pancaran m².
- T_1 : Suhu mutlak permukaan pancaran benda hitam dalam °K.
- T_2 : Suhu mutlak permukaan penerima pancaran (benda hitam) dalam °K.
- σ : Konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,67 \times 10^{-8}$ watt/m² K⁴.

E. Faktor Geometris (F_G)

Perhatikan gambar 4 di bawah ini. Sebuah benda hitam 1 yang memiliki suhu T_1 memancarkan panas secara radiasi kepada benda hitam 2 pada suhu T_2 pada jarak tertentu. Karena kedua benda 1 memiliki suhu yang lebih besar dari benda 2 ($T_1 > T_2$), maka pertukaran panas yang terjadi dapat ditemukan dengan persamaan Stefan-Boltzmann. Lalu selanjutnya, bagaimana menentukan jumlah energi yang meninggalkan permukaan benda 1 dan sampai pada benda 2?



Gambar 4. Pertukaran radiasi pada dua buah benda

Ketika dua benda bertukar panas secara radiasi seperti pada kasus tersebut, tidak semua panas yang dipancarkan benda 1 sampai ke permukaan benda 2. Sebagian dari panas tersebut hilang ke lingkungan. Hal ini disebabkan karena permukaan benda 1 memancarkan panas ke semua arah sehingga sebagian panas tersebut memancar ke lingkungan. Selanjutnya, untuk mendefinisikan panas yang mencapai permukaan lain tersebut kita gunakan faktor bentuk radiasi (*radiation shape factor*) sebagai berikut:

F_{12} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan 1 ke permukaan 2.

F_{21} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan 2 ke permukaan 1.

F_{mn} = fraksi energi yang meninggalkan permukaan m ke permukaan n.

Nama lain untuk faktor bentuk radiasi ialah faktor pandangan (*view factor*), faktor sudut (*angle factor*), dan faktor konfigurasi (*configuration factor*).

Energi yang meninggalkan permukaan 1 dan sampai di permukaan 2 ialah

$$\sigma A_1 T_1^4 F_{12}$$

Energi yang meninggalkan permukaan 2 dan sampai di permukaan 1 ialah

$$\sigma A_2 T_2^4 F_{21}$$

Karena kedua permukaan tersebut hitam, seluruh energi radiasi yang menyimpannya akan diserap, dan pertukaran energi netto nya adalah

$$(\sigma A_1 T_1^4 F_{12}) - (\sigma A_2 T_2^4 F_{21}) = Q_{1-2}$$

Jika kedua permukaan tersebut mempunyai suhu yang sama, maka tidak terjadi pertukaran panas, artinya $Q_{1-2} = 0$.

$$\sigma A_1 T_1^4 = \sigma A_2 T_2^4$$

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$$

Persamaan di atas disebut hubungan resiprositas atau kebalasan (*reciprocity relation*) dan secara umum berlaku untuk kedua permukaan m dan n .

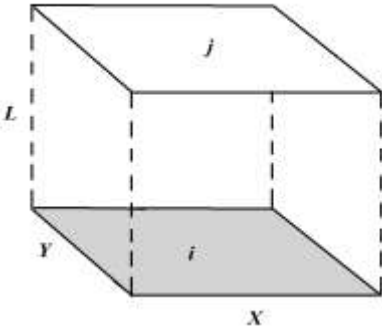
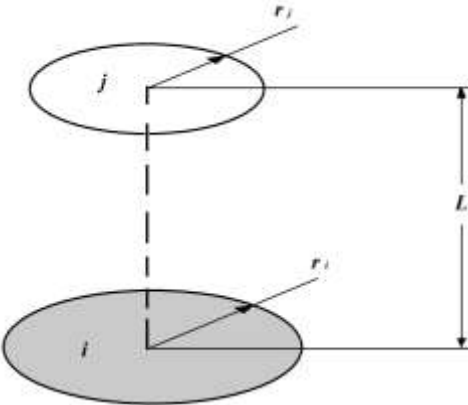
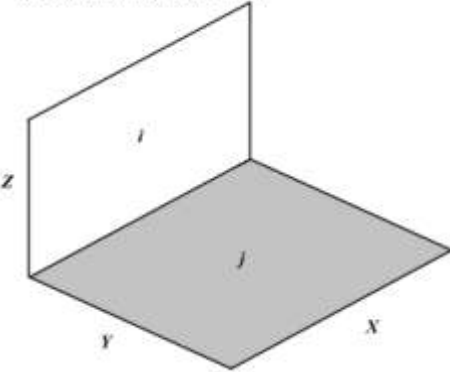
$$A_m F_{mn} = A_n F_{nm}$$

Walaupun hubungan itu diturunkan untuk permukaan hitam, namun ia berlaku juga untuk permukaan lain selama terjadi radiasi baur.

Untuk beberapa faktor pandang/faktor geometris tertentu, dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Berbagai macam faktor geometris

(Sumber: Incropera, dkk. 1987: 815)

Susunan Geometri	Rumus
<p data-bbox="293 506 549 533"><i>Susunan Segi Empat Sejajar</i></p> 	$\bar{X} = X/L, \bar{Y} = Y/L$ $F_{ij} = \frac{2}{\pi \bar{X} \bar{Y}} \left\{ \ln \left[\frac{(1+\bar{X}^2)(1+\bar{Y}^2)}{1+\bar{X}^2+\bar{Y}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \bar{X} (1 + \bar{Y}^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{(1+\bar{X}^2)^{1/2}} - \bar{X} \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \tan^{-1} \bar{Y} \right\}$
<p data-bbox="347 904 501 931"><i>Piringan Sejajar</i></p> 	$R_i = \frac{r_i}{L}, R_j = \frac{r_j}{L}$ $S = 1 + \frac{1 + R_j^2}{R_i^2}$ $F_{ij} = \frac{1}{2} \left\{ S - \left[S^2 - 4(r_j/r_i)^2 \right]^{1/2} \right\}$
<p data-bbox="300 1386 549 1413"><i>Segi Empat Saling Tegak Lurus</i></p> 	$H = \frac{Z}{X}, W = \frac{Y}{X}$ $F_{ij} = \frac{1}{\pi W} \left(W \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \tan^{-1} \frac{1}{H} - (H^2 + W^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \frac{1}{(H^2 + W^2)^{1/2}} + \frac{1}{4} \ln \left\{ \frac{(1+W^2)(1+H^2)}{1+W^2+H^2} \left[\frac{W^2(1+W^2+H^2)}{(1+W^2)(W^2+H^2)} \right]^{W^2} \frac{H^2(1+W^2+H^2)}{[(1+H^2)(H^2+W^2)]^{H^2}} \right\} \right)$

4. Rangkuman

1. Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, dan menukarkan panas di antara sistem fisik.
2. Radiasi merupakan salah satu bentuk dari perpindahan panas yang tidak menggunakan media perantara. Perpindahan panas radiasi terjadi dengan cara pancaran melalui gelombang electromagnet.
3. Hukum Stefan-Boltzmann menyatakan bahwa benda hitam akan memancarkan energi radiasi sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlaknya atau $E_b = \sigma T^4$, dimana $\sigma = 5,669 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$ dan T adalah suhu mutlak benda hitam.
4. Menurut Holman (1986: 343), bila energi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi) dan sebagian lagi diteruskan (transmisi).
5. Untuk benda nyata, besar energi radiasi yang dipancarkan tidak sebesar energi pancaran dari benda hitam, tetapi masih mengikuti proporsional dari hukum pancaran benda hitam.
6. Nilai emisivitas permukaan benda-benda nyata, merupakan hasil dari perbandingan daya emisi benda (E) tersebut dengan daya emisi benda hitam (E_b) pada suhu yang sama. $\epsilon = \frac{E}{E_b}$
7. Besar laju pancaran radiasi dari suatu benda ke benda lain dapat didefinisikan dengan menggunakan persamaan $q = F_\epsilon F_G \sigma A_1 (T_1 - T_2)^4$ dengan q adalah laju pancaran energi radiasi benda hitam dalam Watt, F_ϵ faktor emisivitas bahan/permukaan, F_G faktor pandang/faktor geometri, A_1 luas permukaan pancaran m^2 , T Suhu mutlak permukaan pancaran benda dalam K, serta σ Konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai $5,67 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$.

5. Soal Latihan

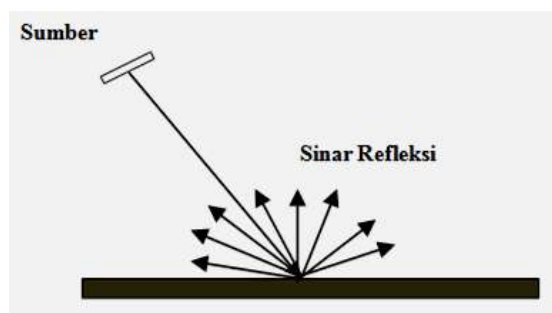
A. Pilihan Ganda

Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Bentuk perpindahan panas ada tiga macam, yaitu...
 - a. Radiasi, transmisi, dan absorpsi
 - b. Radiasi, transmisi, dan refleksi
 - c. Radiasi, konduksi, dan refleksi
 - d. Konveksi, radiasi, dan absorpsi
 - e. Konveksi, radiasi, dan konduksi
2. Salah satu contoh dari perpindahan panas secara radiasi adalah sebagai berikut, kecuali...
 - a. Mendekatkan tangan pada nyala lilin
 - b. Panas matahari yang terpancar ke bumi
 - c. *Microwave* yang sedang beroperasi
 - d. Memanaskan logam dengan api
 - e. Mendekatkan tangan ke perapian yang menyala
3. Radiasi merupakan salah satu cabang bentuk perpindahan panas secara...
 - a. Sentuhan
 - b. Aliran
 - c. Hembusan
 - d. Hantaman
 - e. Pancaran
4. Benda yang dapat dikatakan sebagai radiator ideal adalah...
 - a. Benda nyata
 - b. Benda tak nyata
 - c. Benda abu – abu
 - d. Benda hitam
 - e. Benda kasat mata
5. Radiasi termal diukur dengan spektrum elektromagnetik terletak pada kisaran...
 - a. 0,4 sampai 0,7 μm

- b. 0,1 sampai 100 μm
 - c. 7 sampai 10 μm
 - d. 1 sampai 100 μm
 - e. 0,01 sampai 10 μm
6. Menurut Holman, ada tiga sifat radiasi yaitu...
- a. Spekular, absorpsi, dan transmisi
 - b. Spekular, absorpsi, dan refleksi
 - c. Absorpsi, refleksi, dan transmisi
 - d. Absorpsi, refleksi, dan konduksi
 - e. Absorpsi, transmisi, dan konveksi
7. Dilihat dari banyaknya energi yang diserap, benda dapat kita bagi menjadi tiga, yaitu benda hitam, benda putih sempurna, dan benda abu – abu. Yang dimaksud dengan benda abu – abu adalah...
- a. Benda yang dapat menyerap semua energi yang menimpunya
 - b. Benda yang dapat meneruskan semua energi yang menimpunya
 - c. Benda yang dapat memantulkan semua energi yang menimpunya
 - d. Benda yang sebagian menyerap dan sebagian memantulkan energi yang menimpunya
 - e. Benda yang sebagian meneruskan dan memantulkan energi yang menimpunya

8.



Perhatikan gambar di samping!

Gambar di samping merupakan bentuk refleksi...

- a. Baur
- b. Turbulen
- c. Laminar
- d. Spekular
- e. Diagonal

9. Benda hitam merupakan penyerap dan pemancar radiasi yang ideal. Nilai emisivitas dari benda hitam adalah...
- $\epsilon = 1$
 - $\epsilon = 0,1$
 - $\epsilon = 0,01$
 - $\epsilon = 10$
 - $\epsilon = 100$
10. Sifat radiasi yang memantulkan disebut...
- Transmisi
 - Konduksi
 - Konveksi
 - Refleksi
 - Absorpsi

B. Uraian

Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan jelas pada lembar jawab!

1. Diketahui sebuah piringan aluminium jari-jari 8 cm dengan suhu yang dijaga konstan sebesar 200°C . Piringan tersebut dihadapkan sejajar dengan piringan yang dianggap sebagai benda hitam. Berapa besar energi radiasi yang dipancarkan oleh piringan aluminium? (Nilai emisivitas aluminium = 0,07)

**TABULASI KENAIKAN SUHU DAN LAJU PERPINDAHAN PANAS
RADIASI**

Spesimen Uji : Aluminium Set Value Spesimen : C
 Lama Waktu : menit Suhu Awal Penerima : C
 Jarak Spesimen : cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : Emisivitas (Aluminium) : 0,073

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Spesimen Uji : Kuningan Set Value Spesimen : C
 Lama Waktu : menit Suhu Awal Penerima : C
 Jarak Spesimen : cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : Emisivitas (Kuningan) : 0,097

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Spesimen Uji : *Stainless Steel* Set Value Spesimen : C
 Lama Waktu : menit Suhu Awal Penerima : C
 Jarak Spesimen : cm Kec. Perisai Udara : --
 Sudut : Emisivitas (*Stainless steel*) : 0,23

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

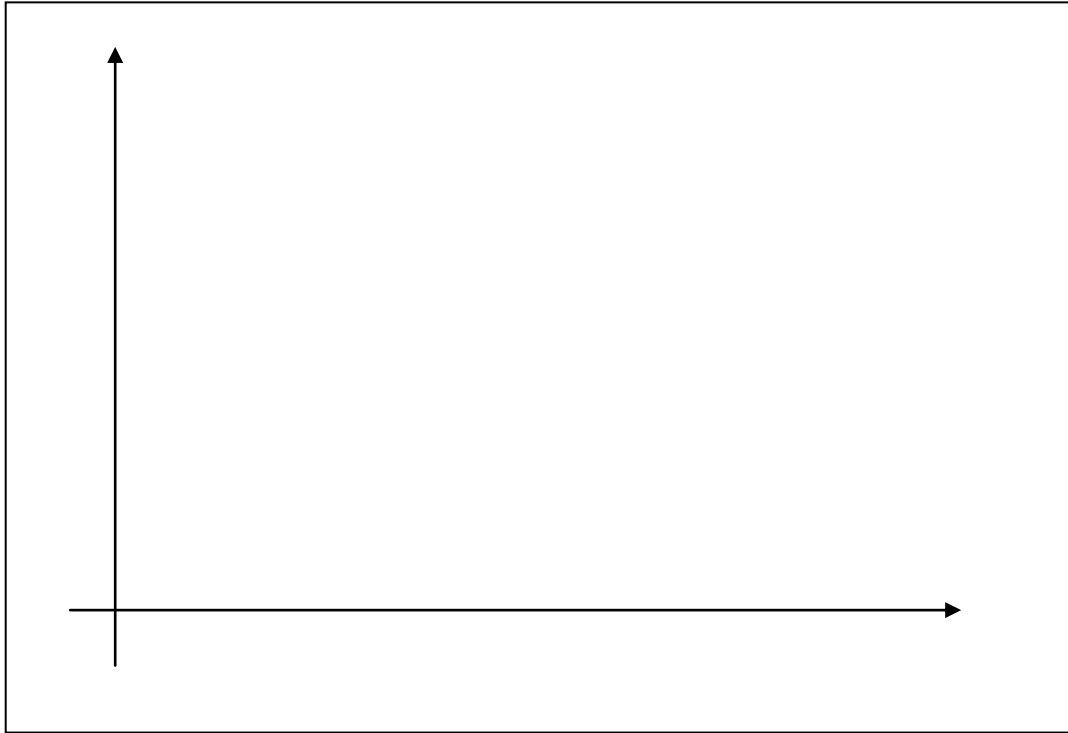
Pengujian ke-

Waktu	Suhu Pemancar T_1 (°C)	Suhu Penerima T_2 (°C)	Suhu Mutlak T_1 (°K)	Suhu Mutlak T_2 (°K)	Selisih Suhu $T_1^4 - T_2^4$ (°K)	Laju Perpindahan Panas Radiasi (Watt)
0						
2						
4						
6						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
20						

TABULASI RATA-RATA LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI

Waktu	Laju Perpindahan Panas (Watt)		
	Aluminium	Kuningan	<i>Stainless Steel</i>
0			
2			
4			
6			
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20			
Rerata			

GRAFIK HASIL PENGUJIAN



Pembahasan grafik pengujian

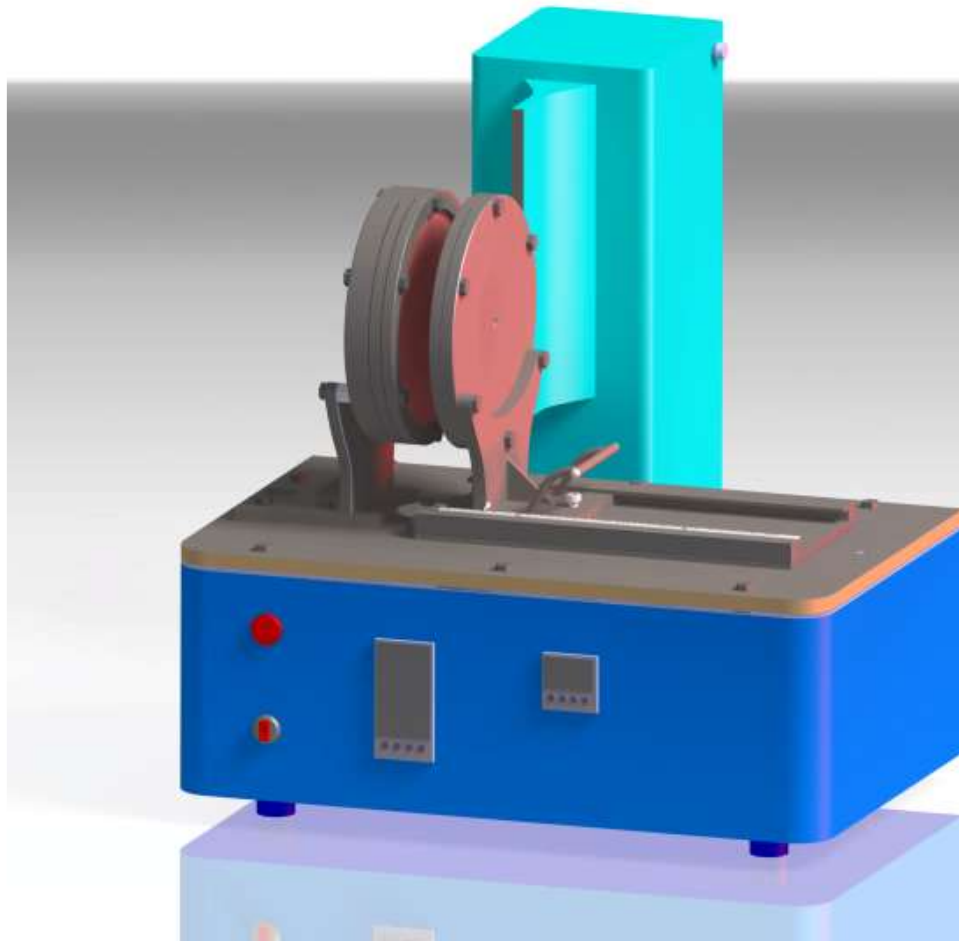
DAFTAR PUSTAKA

- Holman, Jack. P. 1995. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Alih bahasa Jasifi, E. Jakarta: PT Erlangga.
- Incropera, Frank P. dan David P. De Witt. 1990. *Fundamental of Heat Transfer (Third Edition)*. New York: John Willey & Sons.
- Kreith, Frank. 1991. *Perpindahan Panas*. Alih bahasa Prijono, Arko Jakarta: PT Erlangga.
- Koestoer, R. Artono. 2002. *Perpindahan Kalor untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.

2015

BUKU MANUAL

**ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS RADIASI
DENGAN PERISAI DINDING IMAJINER**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI
SEMARANG**

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan “Buku Manual Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi dengan Perisai Dinding Imajiner”. Buku manual ini merupakan panduan operasi dan perawatan alat peraga perpindahan panas radiasi dengan perisai dinding imajiner.

Kami mengucapkan banyak terima kasih terhadap semua pihak yang telah memberikan dukungannya dalam pembuatan alat peraga perpindahan panas radiasi dengan perisai dinding imajiner. Ucapan terima kasih yang tulus kami berikan kepada:

1. Drs. Muhammad Harlanu, M.Pd., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. M. Khumaedi, M.Pd., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Drs. Ramelan, M.T., selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan.
4. Bengkel USAHA JAYA KUDUS, yang telah memberikan dukungan besar terhadap pembuatan alat peraga perpindahan panas radiasi dengan perisai dinding imajiner ini.
5. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 angkatan 2010,
6. Semuapihak yang telah memberikan motivasi, saran dan masukan kepada kami dalam pembuatan alat ini.

Kami menyadari dalam penyusunan buku manual ini masih banyak kekurangan. Tim penyusun mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga buku manual ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

BAGIAN I PENDAHULUAN	
A. Pengantar	3
B. Petunjuk Penggunaan Buku Manual.....	3
BAGIAN II CARA KERJA DAN SPESIFIKASI ALAT	
A. Bagian-Bagian Alat.....	4
B. Fungsi Bagian-Bagian Alat	5
C. Cara Kerja Alat Peraga	6
D. Spesifikasi Teknis	8
BAGIAN III PROSEDUR OPERASI	
A. Keselamatan Kerja	11
B. Prosedur Penyetelan/Pengaturan Alat.....	12
C. Prosedur Pengujian Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi	17
BAGIAN IV PETUNJUK PERAWATAN	
A. Perawatan Rutin (<i>Routine Maintenance</i>).....	20
B. Perawatan Berkala (<i>Periodic Maintenance</i>)	20
C. Kalibrasi <i>Display</i> dan <i>Thermocouple</i>	22
D. <i>Troubleshooting</i>	24
LAMPIRAN.....	26

BAGIAN I

PENDAHULUAN

A. Pengantar

“Buku Manual Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi Dengan Perisai Dinding Imajiner” ini dibuat sebagai panduan operasi dan perawatan terhadap alat peraga perpindahan panas radiasi beserta alat *blower* udara dinding imajiner (*Radiation Heat Transfer Apparatus with Air Flow Shield*). Alat peraga perpindahan panas radiasi merupakan media pembelajaran yang dapat memperagakan proses terjadinya perpindahan panas radiasi. Sedangkan *blower* dinding imajiner adalah alat yang digunakan untuk membuat semburan udara sebagai perisai radiasi berupa dinding imajiner.

Buku ini berisi tentang spesifikasi teknik, petunjuk penggunaan, keselamatan kerja, serta petunjuk perawatan alat peraga dan alat *blower* perisai dinding imajiner.

B. Petunjuk Penggunaan Buku Manual

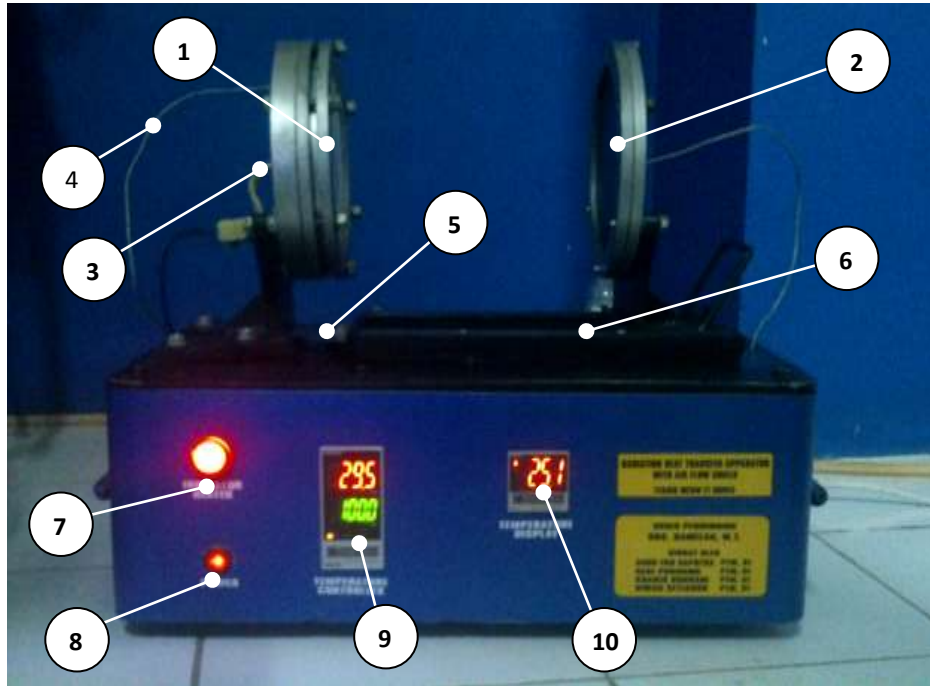
Berikut ini adalah petunjuk dalam menggunakan buku manual alat peraga perpindahan panas radiasi dengan perisai dinding imajiner.

1. Bacalah setiap petunjuk spesifikasi teknis, petunjuk operasi dan petunjuk perawatan dengan baik. Pahami setiap langkah operasi dan perawatan dalam buku manual ini untuk menghindari kesalahan operasi pada alat peraga.
2. Pastikan setiap pengoperasian alat peraga sesuai dengan petunjuk yang ada dalam buku manual ini.
3. Pahami langkah-langkah keselamatan kerja yang ada pada buku manual ini.
4. Pelajari kembali buku manual ini apabila terdapat beberapa hal yang belum dimengerti. Pahami dahulu proses pengoperasian dan perawatan alat peraga sebelum mulai menggunakan alat peraga tersebut.
5. Apabila terdapat beberapa hal yang belum dimengerti terkait pengoperasian dan perawatan alat peraga, tanyakan kepada seorang yang lebih ahli dan paham mengenai alat peraga perpindahan panas radiasi tersebut.

BAGIAN II

CARA KERJA DAN SPESIFIKASI TEKNIS ALAT

A. Bagian-Bagian Alat



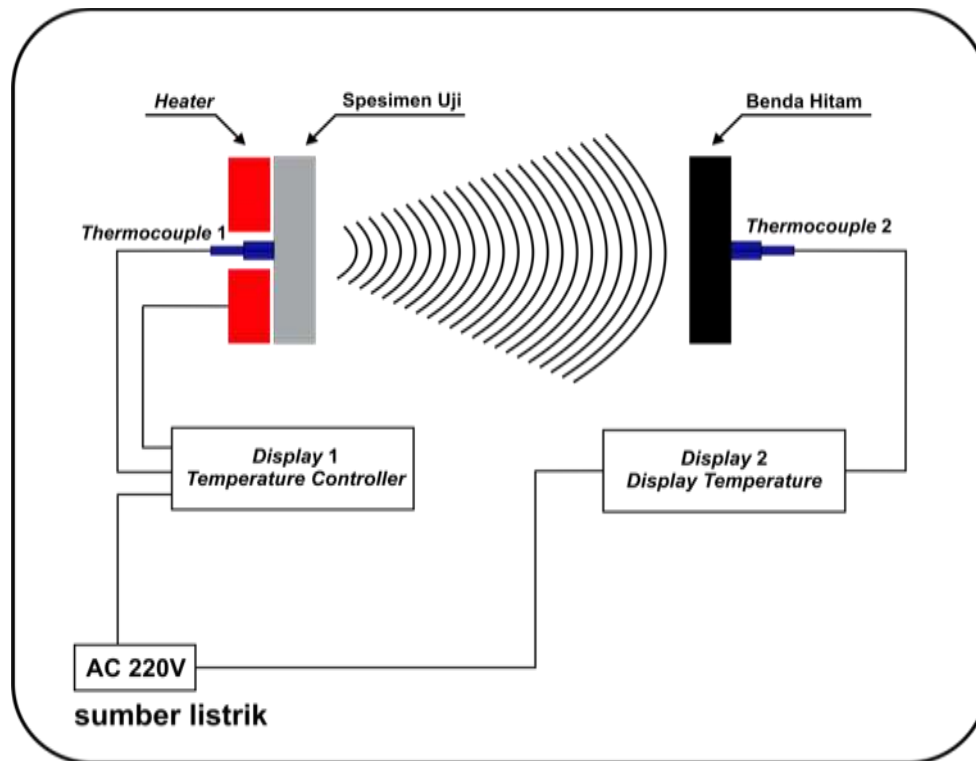
Keterangan:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. Penjepit Spesimen | 7. Indikator <i>Heater</i> |
| 2. Penjepit Benda Hitam | 8. Saklar Power |
| 3. <i>Heater</i> / Pemanas | 9. <i>Display</i> 1 |
| 4. <i>Thermocouple</i> | 10. <i>Display</i> 2 |
| 5. Pengatur Sudut | 11. <i>Box Kaca</i> |
| 6. Meja Pengatur Jarak | |

B. Fungsi Bagian-Bagian Alat

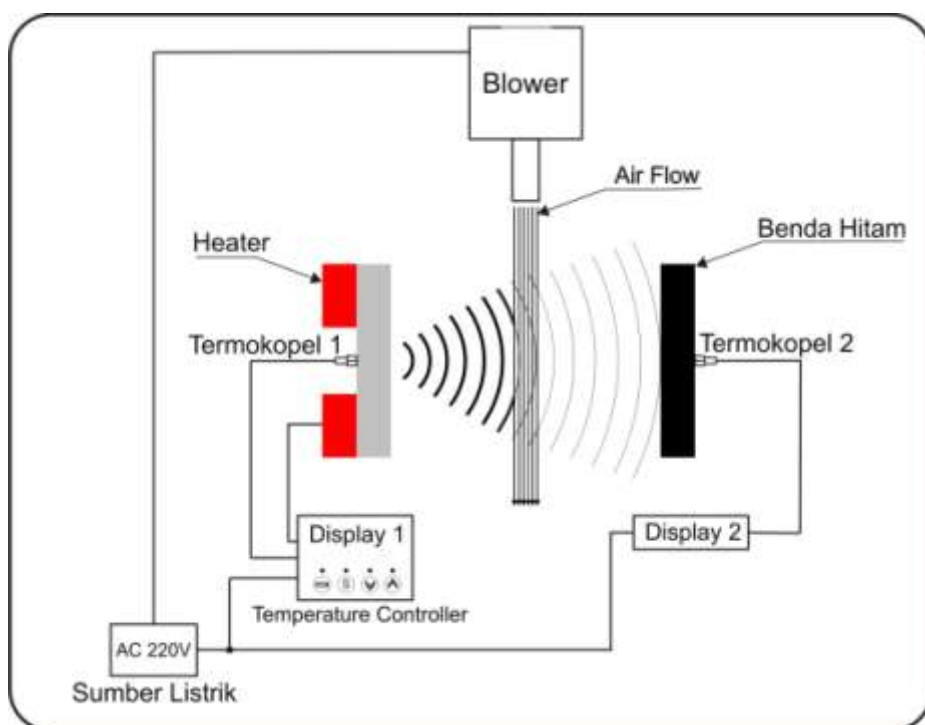
BAGIAN	FUNGSI
Penjepit Spesimen	Menjepit Spesimen Uji saat pengujian .
Penjepit Benda Hitam	Menjepit Benda Hitam saat pengujian.
<i>Heater</i> / Pemanas	Memanaskan spesimen yang akan diuji.
<i>Thermocouple</i>	Sebagai sensor suhu untuk pengukuran suhu spesimen uji dan benda hitam/penerima panas
Pengatur Sudut	Mengatur sudut meja landasan benda hitam / penerima panas.
Meja Pengatur Jarak	Mengatur jarak pengujian antara spesimen uji dan benda hitam.
Indikator <i>Heater</i> / Pemanas	Sebagai lampu indikator menyala / tidaknya <i>heater</i> . Jika lampu indikator menyala maka <i>heater</i> juga menyala. Begitu juga sebaliknya.
Saklar Power	Untuk menghidupkan / mematikan alat.
<i>Display</i> 1	Menampilkan suhu pengukuran pada spesimen uji (digit atas) serta digunakan untuk mengatur suhu pengujian spesimen (digit bawah).
<i>Display</i> 2	Menampilkan suhu pengukuran pada benda hitam/penerima panas
<i>Box Kaca</i>	Menutup alat peraga agar tidak terjadi aliran udara selama pengujian sehingga kehilangan panas akibat konveksi dapat dikurangi.

C. Cara Kerja Alat Peraga



Proses kerja dari alat peraga tersebut yaitu, ketika alat tersebut dihidupkan, maka aliran listrik akan menyalakan *heater* yang menempel pada spesimen uji yang terpasang pada pemegang spesimen. *Heater* tersebut secara langsung akan memanaskan spesimen uji sehingga suhunya akan terus naik. Pada spesimen uji, dipasang *thermocouple 1* yang dihubungkan dengan *temperature controller* yang ada pada *display 1*. *Thermocouple 1* berfungsi sebagai sensor suhu pada spesimen uji. Hasil pengukuran dari *thermocouple 1* ditampilkan pada *display 1*. Sedangkan fungsi dari *temperature controller* yaitu untuk mengontrol besarnya temperatur pada spesimen uji agar tetap konstan sesuai suhu pengukuran yang diinginkan. Ketika suhu pada spesimen uji mencapai suhu pengukuran, maka *temperature controller* akan secara otomatis memutuskan arus listrik yang mengalir pada *heater* sehingga pemanasan pada spesimen uji dihentikan. *Heater* akan kembali menyala secara otomatis ketika suhu pada spesimen uji lebih rendah dari suhu yang ditetapkan pada penelitian.

Pada sisi lain dari alat peraga perpindahan panas secara radiasi, terdapat benda hitam dipasang pada pemegang benda hitam. Benda hitam ini berfungsi sebagai penerima pancaran radiasi dari spesimen uji. Jarak antara spesimen uji dan benda hitam diatur pada jarak tertentu dengan mengatur meja pengatur jarak yang ada pada landasan. Untuk sudut antara spesimen uji dan benda hitam juga dapat diatur dengan memutar meja landasan ke kanan atau ke kiri. Tapi pada penelitian ini, spesimen uji dan benda hitam diatur sejajar. Jadi, pengaturan sudut dilakukan pada 0° . Secara perlahan-lahan akan terjadi pancaran radiasi dari spesimen uji kepada benda hitam. Dalam beberapa waktu, suhu benda hitam akan naik. *Thermocouple 2* yang dipasang pada benda hitam akan mengukur suhu permukaannya dan kemudian hasil dari pembacaan suhu tersebut ditampilkan pada *display 2 (temperature display)*. Hasil pembacaan suhu pada *display 2* dapat langsung dicatat pada tabel pengujian alat peraga yang telah dibuat sebelumnya. Perlu menjadi catatan juga, bahwa benda hitam yang dimaksud dalam penelitian ini bukan benda hitam yang sebenarnya (emisivitas= 1), tetapi merupakan benda hitam tiruan yang memiliki emisivitas mendekati nilai emisivitas= 1 berupa aluminium yang dicat hitam *doff*.



Blower dinding imajiner merupakan *blower* udara yang digunakan sebagai perisai radiasi dari spesimen yang sedang diuji. Cara kerjanya yaitu *blower*

ditempatkan di tengah-tengah antara spesimen uji dan benda hitam. Kecepatan *blower* udara dapat diatur dengan memutar *airflow adjuster*. Untuk pengukuran kecepatan laju semburan udara *blower*, digunakan alat tambahan yang disebut *Anemometer*. Dinding imajiner yang ada diantara diantara spesimen uji dan benda hitam, akan menghalangi sebagian panas pancaran spesimen. Pengujian dapat dilakukan dengan kecepatan laju udara yang berbeda. Selain berfungsi sebagai dinding imajiner dalam pengujian spesimen, *blower* ini juga dapat digunakan sebagai pendingin ketika pengujian spesimen uji selesai.

D. Spesifikasi Teknis

1. Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi (*Radiation Heat Transfer Apparatus*)

BAGIAN	SPEKIFIKASI
Dimensi	Panjang : 550 mm
	Lebar : 330 mm
	Tinggi : 550 mm
Input Power	Tegangan : 220-240 V AC
Bahan/Material	Rangka : Baja Siku
	Landasan Meja : Pelat Baja
	Penjepit Spesimen : Pelat Baja
	Penjepit Benda Hitam : Pelat Baja
	Meja Pengatur Jarak : Pelat Baja
<i>Heater</i> /Pemanas	Tegangan : 220 Volt
	Daya : 300 Watt
<i>Display 1</i>	Merk : Omron
	Type : E5EWL
	Voltage : 100 – 240 Volt AC
	Sensor Input : <i>Thermocouple</i> /PT100
	Dimensi (P x L x T) : 48 x 96 x 60 mm
	Control Output
	<i>Relay</i> Output : 250 VAC, 3 A
Voltage Output : 12 VDC, 21 mA	
<i>Display 2</i>	Merk : Omron
	Type : E5CSL
	Voltage : 100 – 240 Volt AC
	Sensor Input : <i>Thermocouple</i> /PT100
	Dimensi (P x L x T) : 48 x 48 x 60 mm
	Control Output
	<i>Relay</i> Output : 250 VAC, 3 A
Voltage Output : 12 VDC, 21 mA	

BAGIAN	SPEKIFIKASI
<i>Thermocouple 1</i>	Type : K Rentang Suhu Pengukuran : 0 - 400 °C
<i>Thermocouple 2</i>	Type : K Rentang Suhu Pengukuran : 0 - 400 °C
<i>Box Kaca</i>	Dimensi (P x L x T) : 550 x 350 x 350 mm Tebal Kaca : 5 mm.
Pengatur Sudut	Pengaturan Sudut Maksimal : 12°
Pengatur Jarak	Pengaturan Jarak Maksimal : 200 mm
Berat	Berat Alat Peraga : ±40kg

2. *Blower Udara Dinding Imajiner (Air Flow Shield)*

BAGIAN	SPEKIFIKASI
Dimensi Alar	Panjang : 180 mm Lebar : 150 mm Tinggi : 540 mm
Input Power	Tegangan : 220-240 V AC
Bahan/Material	Rangka : Baja Pelat Bodi : Baja Pelat
Kipas/ <i>Blower</i>	Jumlah : 3 buah Input Power : 12 V DC 2A
Anemometer	Dimensi (P x L x T) : 105 x 55 x 20 mm Wind Speed Measuring Range: 0,3-30 m/s Temp. Range : -10 ° - 45°C Resolution : 0,1 m/s, 0,2 °C Mode Unit Selection : m/s, ft/min, knot, km/h, mph
Kecepatan Udara	Kec. Udara Maksimum : 3 m/s Kec. Udara Minimum : 0,8 m/s
Berat	Berat <i>Blower</i> Udara : 15 kg
Semburan Udara	Tebal Semburan Udara : 10 mm Lebar Semburan Udara : 270 mm

3. Spesimen Uji

VARIABEL	SPEKIFIKASI	SPEKIFIKASI
Bahan	Aluminium	Diameter : 170 mm
		Tebal : 10 mm
	Stainless Steel	Diameter : 170 mm
Tebal : 10 mm		
Kuningan	Diameter : 170 mm	
	Tebal : 10 mm	

VARIABEL	SPEKIMEN UJI	SPEKIFIKASI
Perlakuan Permukaan	Aluminium Polishing	Diameter : 170 mm Tebal : 10 mm Permukaan : Dipoles Halus
	Aluminium Roughing	Diameter : 170 mm Tebal : 10 mm Permukaan : Pengerjaan Kasar
	Aluminium Painting-Black Doff	Diameter : 170 mm Tebal : 10 mm Permukaan : Dicat Warna Hitam Doff Merk Cat : RJ London
	Aluminium Painting-White	Diameter : 170 mm Tebal : 10 mm Permukaan : Dicat Warna Putih Merk Cat : RJ London

BAGIAN III

PROSEDUR OPERASI

A. Keselamatan Kerja

Prosedur keselamatan kerja dalam pengoperasian alat peraga perpindahan panas radiasi dan *blower* dinding imajiner adalah sebagai berikut.

1. Perhatikan prosedur pengoperasian alat peraga perpindahan panas radiasi.
2. Hati-hati apabila memindahkan alat peraga. Pastikan semua pengunci dikencangkan sebelum memindah alat peraga.
3. Jangan mengangkat alat peraga bersamaan dengan *box* kaca. Mintalah bantuan kepada orang lain untuk mengangkat *box* kaca.
4. Apabila akan mengangkat alat peraga, lakukan minimal 2 (dua) orang.
5. Jangan sekali-kali memegang kabel *heater* pada saat alat peraga dioperasikan.
6. Hati-hati dalam memasang dan melepas *box* kaca, karena kaca mudah pecah.
7. Jangan memegang spesimen uji yang sedang dipanaskan.
8. Apabila akan meninggalkan alat peraga, pastikan alat dalam keadaan mati.
9. Periksa setiap bagian alat peraga sebelum dan sesudah penggunaan. Apabila terjadi kejanggalan, laporkan kepada pihak yang lebih mengerti (Ka. Lab., Teknisi atau Dosen Pengampu).
10. Kembalikan alat peraga ke posisi semula setelah proses penggunaan.
11. Lumasi bagian meja luncur apabila diperlukan.
12. Apabila ingin membongkar alat peraga, pastikan tidak ada aliran listrik yang terhubung dan alat peraga harus dalam keadaan mati.

WARNING

**Hati-hati terhadap permukaan panas pada alat peraga yang sedang beroperasi !
Jangan memegang Spesimen Uji selama pengujian berlangsung**

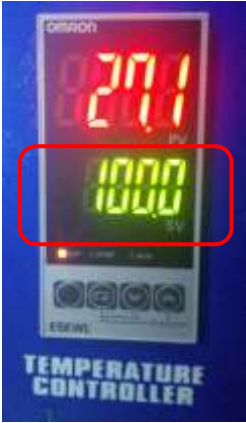

B. Prosedur Penyetelan/Pengaturan Alat







1. Setting *Display*







Setting / pengaturan *display* dilakukan untuk mengatur tampilan pengukuran dari *thermocouple*. Berikut ini adalah gambar dari *display 1* dan *display 2*.



Display 1 (kiri), digunakan sebagai penampil suhu spesimen uji dan untuk mengatur temperatur pengujian. Sedangkan *display 2* hanya digunakan sebagai penampil suhu pengukuran benda hitam / penerima pancaran. Berikut ini adalah beberapa pengaturan yang ada pada *display*.

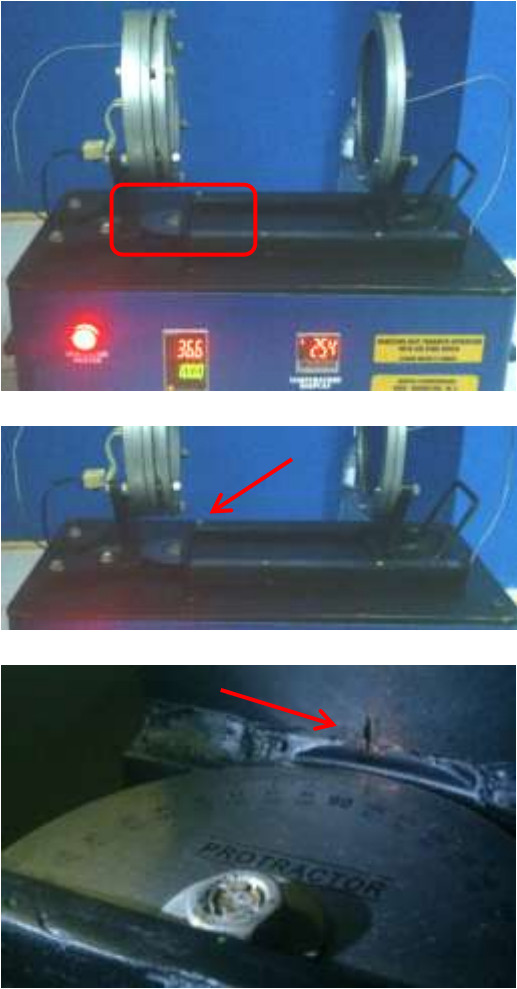
SETTING	LANGKAH
<p data-bbox="277 1290 670 1357">Pengaturan Suhu Pengujian pada <i>Display 1</i></p>   <p data-bbox="352 1928 598 1955">Tombol Down dan Up</p>	<ol data-bbox="699 1361 1359 1977" style="list-style-type: none"> 1. Perhatikan digit baris kedua pada <i>display 1</i>. Digit kedua merupakan <i>display</i> untuk pengaturan suhu pengujian. 2. Gunakan tombol Up / Down untuk mengubah nilai pengaturan pada display digit kedua. Tombol Up untuk menambah nilai suhu, dan tombol Down untuk mengurangi nilai suhu pengaturan.

SETTING	LANGKAH
<p>Pengaturan Nilai Temperatur <i>Input shift</i> (Untuk Kalibrasi <i>Display</i>)</p>     <p>Menu <i>Input shift</i></p>  	<ol style="list-style-type: none"> 3. Tekan tombol O (lihat gambar disamping) selama kurang dari 1 detik untuk beralih dari menu operasi pada <i>display</i> 1, sehingga tampilan <i>display</i> akan beralih ke menu adjustment level. 4. Tekan tombol seperti gambar disamping 1 (satu) kali untuk masuk ke menu setting <i>input shift</i>. 5. Gunakan tombol Up / Down untuk mengatur besarnya nilai <i>input shift</i>. Besarnya nilai input didapatkan dari selisih suhu pengukuran pada <i>display</i> dengan suhu alat kalibrasi (misal termometer). Besar nilai <i>input shift</i> adalah nilai suhu pengukuran suatu zat dengan termometer, dikurangi dengan pengukuran suhu oleh <i>display</i>. Untuk keterangan lebih lanjut mengenai kalibrasi, akan dijelaskan pada bab selanjutnya. 6. Apabila pengaturan selesai, tekan tombol O untuk kembali ke menu operasi.
<p>Pengaturan Nilai Hysteresis</p>	<p>Hysteresis digunakan sebagai toleransi suhu untuk mengatur kapan <i>heater</i> hidup / mati. Jika hysteresis diatur pada 1,0°C, maka <i>heater</i> akan menyala kembali ketika suhu spesimen uji turun 1,0 °C dibawah temperatur pengaturan. Contoh,</p>

   <p>tekan 2 kali</p>   	<p>jika pengaturan suhu adalah 100,0 °C, hysteresis diatur pada 1,0 1,0 °C, maka ketika suhu spesimen mencapai 100 °C, <i>heater</i> akan mati. <i>Heater</i> akan kembali menyala ketika suhu spesimen turun menjadi 99,0 °C (karena 100,0 °C dikurangi 1,0 °C adalah 99,0 °C) Berikut adalah langkah pengaturan hysteresis.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dari menu operasi, tekan tombol O (lihat gambar disamping) selama kurang dari 1 detik untuk beralih ke menu adjustment level. 2. Tekan tombol seperti pada gambar disamping sebanyak 2 (dua) kali untuk masuk menu hysteresis. 3. Gambar disamping adalah tampilan menu hysteresis. 4. Gunakan tombol Up / Down untuk mengatur nilai hysteresis. 5. Jika pengaturan selesai, gunakan tombol O untuk kembali ke menu operasi.
--	---

2. Setting Pengatur Sudut



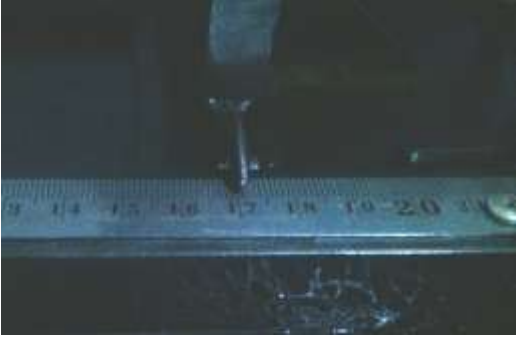
Pengatur sudut digunakan untuk mengubah sudut meja landasan benda hitam. Sudut maksimal yang bisa diatur adalah sebesar 12° kearah kanan atau kearah kiri.

SETTING	LANGKAH
<p data-bbox="277 309 756 340">Pengaturan Sudut Meja Landasan</p> 	<p data-bbox="828 309 1359 519">Gambar disamping merupakan pengatur sudut meja landasan yang terdiri dari pengunci meja landasan dan juga busur derajat pengatur sudut. Langkah dalam pengaturan sudut adalah sebagai berikut:</p> <ol data-bbox="828 564 1359 1294" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="828 564 1359 712">1. Putar baut pengunci meja (lihat gambar) berlawanan arah jarum jam untuk melonggarkan penguncian pada meja. <li data-bbox="828 824 1359 1034">2. Putar meja ke arah kanan/kiri untuk mengatur sudut meja landasan. Perhatikan busur pengatur. Pastikan tanda pengaturan (lihat gambar) segaris dengan skala yang ingin diatur pada busur derajat. <li data-bbox="828 1079 1359 1227">3. Apabila pengaturan selesai, putar baut pengunci meja landasan searah jarum jam untuk mengencangkan kembali. <li data-bbox="828 1258 1359 1294">4. Pengaturan selesai.


3. Setting Jarak Pengujian


Setting jarak pengujian digunakan untuk mengatur jarak antara kedua permukaan yang sedang diuji (jarak permukaan spesimen dan benda hitam penerima pancaran).

SETTING	LANGKAH
<p data-bbox="277 1769 612 1800">Setting Jarak Pengujian</p>	<p data-bbox="828 1769 1359 1982">Gambar disamping merupakan pengatur jarak meja landasan. Penyangga benda hitam penerima pancaran dilengkapi dengan meja luncur (<i>sliding table</i>) yang memungkinkan untuk diubah posisinya sepanjang landasan meja. Ketelitian</p>

	<p>skala jarak pengujian adalah 1 mm. Berikut adalah langkah pengaturan jarak pengujian.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kendorkan baut pengunci meja luncur (lihat gambar), sehingga meja dapat bergerak bebas.
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Aturlah meja luncur sesuai dengan jarak yang diinginkan. Perhatikan penunjuk skala pada meja luncur.
	<ol style="list-style-type: none"> 3. Jika pengaturan selesai, kencangkan kembali baut pengunci meja luncur sehingga setting meja luncur tidak mudah berubah.

4. Mengganti Spesimen Uji

SETTING	LANGKAH
<p>Melepas Spesimen Uji</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lepas baut kunci pada penjepit spesimen dengan kunci pas.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Lepaskan <i>thermocouple</i> dari spesimen uji dengan memutar ulirnya. 3. Siapkan spesimen pengganti yang akan dipasang. 4. Pasangkan spesimen pengganti pada <i>thermocouple</i>. 5. Pasang penjepit pada spesimen uji. 6. Pasang kembali kelima mur pengunci pada penjepit spesimen. Pastikan bahwa spesimen uji terkunci dengan rapat.
---	--

C. Prosedur Pengujian Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi

1. Pengujian Spesimen Uji

Pengujian spesimen uji merupakan pengujian tanpa menggunakan *blower* udara. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur perbedaan spesimen uji (variasi bahan atau perlakuan permukaan). Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Persiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan pada uji coba tersebut (alat peraga, spesimen uji, tabel pengambilan data, dll)
2. Pastikan terlebih dahulu bahwa alat peraga tersebut sudah dikalibrasi.
3. Hubungkan alat peraga perpindahan panas dengan sumber listrik AC pada stop kontak.
4. Pasang spesimen uji pada penjepit 1 disebelah kiri.
5. Hidupkan saklar *MCB (Miniature Circuit Breaker)* dibagian belakang alat peraga pada posisi ON.
6. Tekan tombol power dibagian depan alat peraga pada posisi ON, maka secara otomatis *display 1*, *display 2* dan *heater* akan menyala secara bersamaan.
7. Lakukan pengaturan suhu maksimum penelitian pada *display 1* dengan menekan tombol Setting Value dan Tombol UP / DOWN.
8. Biarkan selama beberapa menit sehingga *heater* memanaskan spesimen uji sampai suhu yang sudah ditetapkan.

9. Jika suhu spesimen uji mencapai suhu penelitian, atur jarak dan sudut penerima pancaran (Benda Hitam).
10. Tutup alat peraga dengan menggunakan *box* kaca untuk mengurangi kehilangan panas melalui konveksi.
11. Siapkan tabel pengujian dan *stopwatch*.
12. Ketika suhu benda hitam mencapai suhu awal pengambilan data (misalkan 30° C), mulailah penghitungan *stopwatch*.
13. Catat kenaikan suhu penerima panas (benda hitam) setiap selang waktu 2 menit selama 20 menit.
14. Setelah waktu penelitian selesai, lakukan pendinginan spesimen uji dengan menggunakan *blower* udara sebelum melepasnya.
15. Catat data yang didapatkan pada pengujian 1, spesimen 1 pada tabel yang tersedia. (contoh tabel pengujian terlampir)
16. Untuk pengujian selanjutnya, ganti spesimen uji dengan benda 2. Setelah selesai, ganti dengan benda 3 dan seterusnya sampai semua benda diuji cobakan. Spesimen uji hanya diperbolehkan melakukan pengambilan data 1 kali tiap pengujian sampai semua spesimen uji diuji cobakan, baru dilakukan pengambilan data ke-2 pada pengujian tersebut.
17. Jadi, urutan pengujiannya (jika menggunakan 4 spesimen) yaitu:
Pengujian 1: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3 → Spesimen 4
Pengujian 2: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3 → Spesimen 4
Pengujian 3: Spesimen 1 → Spesimen 2 → Spesimen 3 → Spesimen 4
18. Pengujian dilakukan selama 3 kali. Setelah semua pengujian dilakukan, masukkan data pengujian pada tabel.

2. Pengujian dengan *Blower* Udara

Pengujian dengan menggunakan *blower* udara merupakan pengujian untuk mengukur perbedaaan laju perpindahan panas dengan perisai aliran udara dinding imajiner. Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Persiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan pada ujicoba tersebut (alat peraga, spesimen uji, tabel pengambilan data, dll)
2. Pastikan terlebih dahulu bahwa alat peraga tersebut sudah dikalibrasi.

3. Hubungkan alat peraga perpindahan panas dengan sumber listrik AC pada stop kontak.
4. Pasang spesimen uji pada penjepit 1 disebelah kiri.
5. Hidupkan saklar *MCB (Miniature Circuit Breaker)* dibagian belakang alat peraga pada posisi ON.
6. Tekan tombol power dibagian depan alat peraga pada posisi ON, maka secara otomatis *display 1, display 2* dan *heater* akan menyala secara bersamaan.
7. Lakukan pengaturan suhu maksimum penelitian pada *display 1* dengan menekan tombol *Setting Value* dan Tombol UP / DOWN.
8. Biarkan selama beberapa menit sehingga *heater* memanaskan spesimen uji sampai suhu yang sudah ditetapkan.
9. Jika suhu spesimen uji mencapai suhu penelitian, atur jarak dan sudut penerima pancaran (Benda Hitam).
10. Tutup alat peraga dengan menggunakan *box* kaca untuk mengurangi kehilangan panas melalui konveksi
11. Pasang *blower* dinding imajiner bagian belakang.
12. Atur jarak posisi *blower* dengan spesimen uji.
13. Atur kecepatan laju udara dinding imajiner dengan bantuan anemometer.
14. Siapkan tabel pengujian dan *stopwatch*.
15. Ketika suhu benda hitam mencapai suhu awal pengambilan data (misalkan 30° C), mulailah penghitungan *stopwatch*.
16. Catat kenaikan suhu penerima panas (benda hitam) setiap selang waktu 2 menit selama 20 menit.
17. Setelah waktu penelitian selesai, lakukan pendinginan spesimen uji dengan menggunakan *blower* udara sebelum melepasnya.
18. Catat data yang didapatkan pada tabel pengujian. (contoh tabel pengujian terlampir).
19. Untuk pengujian selanjutnya, ganti kecepatan laju udara dinding imajiner untuk pengujian selanjutnya.
20. Pengujian dilakukan selama 3 kali. Setelah semua pengujian dilakukan, masukkan data pengujian pada tabel.

BAGIAN IV

PETUNJUK PERAWATAN

A. Perawatan Rutin (*Routine Maintenance*)

Perawatan rutin merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin setiap hari atau setiap pemakaian alat peraga. Beberapa perawatan rutin alat peraga perpindahan panas radiasi dan *blower* dinding imajiner adalah sebagai berikut:

1. Pengecekan rutin terhadap alat peraga dan *blower* dinding imajiner.
2. Pembersihan rutin pada spesimen uji.
3. Pengecekan rutin terhadap bagian-bagian alat peraga dan juga *blower* dinding imajiner.
4. Pelumasan pada meja luncur (*sliding table*) dan pengatur sudut.
5. Pengecekan semburan udara pada *blower* dinding imajiner.

B. Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*)

Perawatan berkala merupakan perawatan terjadwal yang dilakukan untuk memastikan kinerja mesin atau alat selalu dalam kondisi siap pakai. Tujuan lain dari perawatan berkala adalah untuk menghindari kerusakan alat/mesin saat digunakan.

1. Alat Peraga

Perawatan berkala untuk alat peraga perpindahan panas radiasi adalah sebagai berikut.

Perawatan	Bagian	Periode Waktu
Pengecekan	<i>Display 1</i>	Setiap 1 Bulan
	<i>Display 2</i>	Setiap 1 Bulan
	<i>Heater/Pemanas</i>	Setiap 1 Bulan
	<i>Thermocouple 1</i>	Setiap 1 Bulan
	<i>Thermocouple 2</i>	Setiap 1 Bulan
	Sistem Kelistrikan	Setiap 1 Bulan
Pembersihan	Rumah <i>Heater</i> dan Penjepit Spesimen Uji	Setiap 3 Bulan
	Bagian dalam Alat Peraga	Setiap 3 Bulan
	Pengatur Sudut	Setiap 1 Bulan
	Meja Luncur	Setiap 1 Bulan

Perawatan	Bagian	Periode Waktu
Pelumasan	Meja Luncur (<i>Sliding Table</i>)	Setiap 1 Minggu
	Landasan Meja Luncur	Setiap 1 Minggu
	Pengatur Sudut	Setiap 1 Minggu
Pengaturan Ulang (<i>Resetting</i>)	Sudut Meja Luncur	Setiap Pakai
	Jarak Spesimen dan Benda Hitam	Setiap Pakai
	Ketegak Lurusan Spesimen Uji / Benda Hitam dengan Landasan Meja	Setiap 3 Bulan
	Kalibrasi <i>Display</i>	Setiap 3 Bulan
	Kesejajaran Spesimen Uji dan Benda Hitam	Setiap 3 Bulan
	Kerataan Meja Landasan	Setiap 3 Bulan
<i>Overhaul</i>	Semua Bagian	Setiap 1 Tahun

2. Blower Udara

Perawatan	Bagian	Periode Waktu
Pengecekan	Kipas <i>Blower</i> 1	Setiap 1 Bulan
	Kipas <i>Blower</i> 2	Setiap 1 Bulan
	Kipas <i>Blower</i> 3	Setiap 1 Bulan
	Rangkaian Kelistrikan	Setiap 1 Bulan
	Pengatur Kecepatan Udara	Setiap 1 Bulan
Pembersihan	Kipas <i>Blower</i>	Setiap 3 Bulan
	Bagian dalam <i>Blower</i> Udara	Setiap 3 Bulan
	Saluran <i>Blower</i> Udara	Setiap 1 Bulan
	Bagian Luar	Setiap 1 Bulan
<i>Overhaul</i>	Semua Bagian	Setiap 1 Tahun

3. Spesimen Uji

Perawatan	Bagian	Periode Waktu
Pengecekan	Tampilan Spesimen	Setiap Pakai
	Permukaan Spesimen	Setiap Pakai
Pembersihan	Semua Spesimen	Setiap Pakai
Pengecatan Ulang	Spesimen Aluminium <i>Painting Black</i> dan Aluminium <i>Painting White</i>	Setiap 3 Bulan
Pemolesan Ulang	Spesimen Aluminium <i>Polishing</i> , <i>Stainless Steel</i> , Kuningan.	Setiap 3 Bulan

C. Kalibrasi *Display* dan *Thermocouple*

Kalibrasi merupakan proses penyetelan ulang pada suatu alat ukur terhadap alat ukur lain yang dianggap standar. Kalibrasi *display* dan *thermocouple* pada alat peraga perpindahan panas radiasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil dengan sebuah termometer. Berikut ini adalah daftar alat dan bahan yang digunakan untuk kalibrasi *display* dan *thermocouple*.

1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam kalibrasi ini adalah:

- ✓ Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi
- ✓ Termometer
- ✓ Bejana Berisi Air / Fluida
- ✓ Kunci Pas
- ✓ Lap

2. Langkah Kalibrasi

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam kalibrasi.

- a. Persiapkan semua peralatan dan bahan yang akan digunakan untuk kalibrasi.
- b. Lepas Spesimen Uji dan Benda Hitam dari alat peraga dengan bantuan kunci pas, untuk memudahkan dalam melepas *thermocouple* 1 dan *thermocouple* 2.
- c. Hidupkan alat peraga, sehingga pengukuran dari kedua *thermocouple* dapat ditampilkan pada *display* 1 dan *display* 2.
- d. Masuk ke menu *input shift* pada adjustment level (lihat Bagian III pada pengaturan *input shift* suhu). Setting *input shift* pada nilai 0,0.
- e. Siapkan bejana berisi air dan termometer .
- f. Masukkan termometer, ujung sensor *thermocouple* 1 dan *thermocouple* 2 secara bersamaan pada air dalam bejana.
- g. Biarkan selama kurang lebih 5 menit sehingga termometer dan *thermocouple* dapat membaca suhu air dengan baik.
- h. Catatlah hasil pengukuran pada termometer, *display* 1 dan *display* 2.
- i. Hitunglah selisih pengukuran suhu pada termometer dengan hasil pengukuran suhu pada *display* 1 dan *display* 2. (lihat rumus dibagian bawah).

- j. Masukkan nilai *input shift* suhu pada *display 1* dan *display 2* untuk mengatur kalibrasi.
- k. Lakukan pengukuran kembali pada bejana air tersebut.
- l. Diamkan selama 5 menit. Apabila hasil pengukuran pada termometer, *display 1* dan *display 2* menunjukkan angka yang sama atau selisih maksimum 0,1 °C, maka kalibrasi dengan termometer berhasil dilakukan. Apabila hasil pengukuran pada *display* dengan termometer terdapat selisih yang besar, lakukan kalibrasi ulang.
- m. Catat hasil pengukuran pada tabel kalibrasi.
- n. Keringkan bagian ujung sensor *thermocouple 1* dan *thermocouple 2* dengan kain majun.
- o. Pasang kembali kedua *thermocouple* pada spesimen uji dan benda hitam.
- p. Kalibrasi selesai.

3. Rumus Perhitungan Nilai Pengaturan *Input shift* Suhu pada *Display*

Untuk melakukan kalibrasi pada *display 1* dan *display 2*, maka dilakukan perhitungan rumus untuk menemukan nilai pengaturan pada *display*. Hasil pengukuran pada *display 1*, *display 2* dan termometer dicatat dan dihitung selisih suhu pengukurannya. Rumus untuk menghitung selisihnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Selisih Suhu} = (\text{Pengukuran Suhu Termometer} - \text{Pengukuran Suhu Display})$$

Contoh: Dalam pengukuran dihasilkan pengukuran suhu air oleh Termometer 30,0 °C, hasil pengukuran pada *display 1* adalah 27,5 °C, dan hasil pengukuran pada *display 2* adalah 32,0 °C. Berarti dapat disimpulkan bahwa terdapat selisih suhu pengukuran, sehingga perlu dilakukan kalibrasi. Nilai pengaturan kalibrasi pada *display 1* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Nilai pengaturan display 1} &= 30,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 27,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 2,5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Nilai pengaturan display 2} &= 30,0 \text{ } ^\circ\text{C} - 32,0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= -2,0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Artinya, nilai yang dimasukkan untuk pengaturan kalibrasi pada *display* 1 adalah 2,5 sedangkan untuk *display* 2, nilai pengaturan kalibrasinya adalah -2,0. Hal tersebut menandakan kalau *display* 1 mengukur suhu lebih kecil 2,5 °C sehingga perlu disamakan dengan memasukkan nilai *input shift* suhu pada pengaturan *display* 1 sebesar 2,5 °C. Untuk *display* 2, nilai *input shift* suhu yang dimasukkan bernilai negatif, dikarenakan hasil pengukuran *display* 2 lebih besar dari pengukuran termometer. Nilai pengukuran *display* 2 perlu dikurangi sebesar -2,0 °C untuk menyamakan nilai pengukuran pada zat yang diuji.

D. Troubleshooting

Masalah/Kerusakan	Kemungkinan Penyebab	Penanganan
Alat Peraga Tidak Menyala	➤ Tidak ada aliran listrik	➤ Periksa kabel stop kontak
	➤ <i>MCB (Miniature Circuit Breaker)</i> putus	➤ Ganti <i>MCB (Miniature Circuit Breaker)</i>
	➤ <i>Relay</i> Putus	➤ Ganti <i>Relay</i>
<i>Display</i> Tidak Menyala	➤ Kabel putus	➤ Perbaiki/ganti kabel
	➤ <i>Display</i> Rusak	➤ Ganti <i>display</i>
<i>Heater</i> Tidak Menyala	➤ Tidak ada aliran listrik	➤ Periksa kabel <i>heater</i>
	➤ <i>Heater</i> rusak	➤ Ganti <i>heater</i>
<i>Thermocouple</i> Tidak Membaca Suhu	➤ Kabel sambungan ke <i>display</i> lepas	➤ Pasang kembali kabelnya
	➤ <i>Thermocouple</i> rusak	➤ Ganti <i>thermocouple</i> dengan yang baru
Meja Pengatur Sudut dan Jarak Sulit Digerakkan	➤ Meja kering	➤ Beri pelumas atau minyak
	➤ Pengunc imasih terpasang	➤ Lepas baut pengunci
<i>Display</i> Tidak Membaca Suhu dengan Baik	➤ <i>Thermocouple</i> rusak	➤ Ganti <i>thermocouple</i>
	➤ Kabel penghubung dengan <i>thermocouple</i> rusak	➤ Perbaiki atau ganti kabel
<i>Blower</i> tidak menyala	➤ Tidak ada aliran listrik	➤ Periksa kabel <i>power blower</i>
	➤ <i>Blower</i> rusak	➤ Periksa kerja trafo ➤ Ganti <i>blower</i>

LAMPIRAN

Contoh Tabel Pengambilan Data Spesimen Uji

PENGUJIAN ALAT PERAGA PERPINDAHAN PANAS SECARA RADIASI DATA 1

Hari/ Tanggal : _____
 Tempat Pengambilan Data : _____
 Waktu : _____
 Nama Peneliti : _____
 Variabel Penelitian : _____

PENGUJIAN KE-1

Spesimen Uji : Set Value Spesimen :°C
 Lama Waktu : 20 menit Suhu Awal Penerima :°C
 Jarak Spesimen : cm Kec. Perisai Udara : m/s
 Sudut :°

Waktu (menit)	Suhu Spesimen Uji/Pemancar (°C)	Suhu Benda Hitam/Penerima Pancaran (°C)
0		
2		
4		
6		
8		
10		
12		
14		
16		
18		
20		

BIODATA TIM PENYUSUN

	Nama : Agus Eko Saputra NIM : 5201410006 Prodi : Pend. Teknik Mesin Alamat : Kudus
	Nama : Heri Purnomo NIM : 52014100039 Prodi : Pend. Teknik Mesin Alamat : Kudus
	Nama : Riwan Setiarso NIM : 5201410030 Prodi : Pend. Teknik Mesin Alamat : Kendal
	Nama : Kharis Burhani NIM : 5201410063 Prodi : Pend. Teknik Mesin Alamat : Purwokerto

**DATA HASIL ANGKET TANGGAPAN MAHASISWA TERHADAP MODUL
PERPINDAHAN PANAS RADIASI
PADA MATA KULIAH PERPINDAHAN KALOR DASAR
SEMESTER GANJIL TAHUN AJARAN 2014/2015**

No.	NIM	Nama Responden	Butir Soal				
			1	2	3	4	5
1	5212413056	Eko Aprilianto	4	4	4	4	3
2	5212413029	Dwi Pujasakti	4	4	4	3	3
3	5212413028	Muhammad Adi Puryadi	3	3	2	3	3
4	5212413010	Amry Wicaksana	3	4	3	3	4
5	5212413002	Imam Rudianto	3	3	3	3	3
6	5212413016	M. Anwar Anas	3	3	3	3	3
7	5212413013	Rendi Yulianto	3	3	3	3	3
8	5212413011	Giri Susilo	3	3	3	3	2
9	5212413009	Fahmi Nurul Yahya	3	3	3	2	3
10	5212413014	Muhammad Fadhil	4	4	3	4	3
11	5212413005	Afri Mukti Pribadi	3	4	3	3	3
12	5212413040	Kharis Munandar	3	3	3	4	3
13	5212413061	Jeri Pranio	4	4	4	4	3
14	5212413042	Ahmad Sigit Affandi	4	3	3	4	3
15	5212413007	M. Iwan Setiawan	4	4	3	4	3
16	5212413039	Fahma Ilmian S.	3	3	3	3	3
17	5212413043	Galuh Nur Budiandono	4	4	4	4	3
18	5212413037	Dhimas Moehammad D.	3	3	3	3	2
19	5212413047	Fahmi Abdullah Naafi'	3	3	3	4	4
20	5212413055	Thomas Rivaldhi	3	3	4	3	4
21	5212413038	Senthot Dhimas W.R.	4	4	4	4	3
22	5212413054	M. Adi Nugroho	4	4	3	3	3
23	5212413057	Desca Laily Jehan	3	3	3	3	3
24	5212413035	Naftali Ricky Y.	4	4	4	4	3
25	5212413012	Abdul Rokhim	4	3	3	3	3
26	5212413050	Ahmad Ghani Muzakki	4	4	4	4	3
27	5212413060	Rifki Imanudin Ilham	4	4	3	3	4
28	5212413045	Achmad Arif Ikhwani	4	3	4	3	4
29	5212413063	Panca Ariana	3	3	3	3	3
30	5212413059	Nobertus Dodi	3	3	3	3	3
31	5212413018	Setyo Haryadi	3	3	3	3	2

32	5212413070	M. Gifani Al Qadry	4	3	4	4	2
33	5212413001	M. Azhar Rizki	3	4	4	3	3
34	5212413021	Bagus Setiawan	4	3	3	3	3
35	5212413032	Burhanuddin W.	4	3	4	4	3
36	5212413024	Cahya Budi W.	3	3	3	3	2
37	5212413033	Adib Abdillah	3	3	4	3	3
38	5212413019	Aminullah Ahmad	3	3	4	3	3
39	5212413017	Dwi Apit H.	3	2	3	3	3
40	5212413015	Dwi Nanda Bayu Krisna	3	2	3	3	2
41	5212413026	Bagus Adi Pratama	3	3	4	3	3
42	5212413023	Elan Prasa Dewa	4	3	3	4	3
43	5212413003	M. Zainal Arifin	3	2	3	3	2
44	5212413048	Harry Soekarno Putra	4	3	4	4	4
45	5212413044	Hilya Hamzah R.	4	4	4	4	3
46	5212413065	Ahmad Yusron	4	4	4	4	4
47	5212413020	Lukman Haqim	3	2	4	3	2
48	5212413064	Alam Saputra S.	4	4	4	4	3
Jumlah			166	157	163	161	143
Rerata			3,46	3,27	3,4	3,35	2,98
Skor Maks			192	192	192	192	192
%			86,5	81,8	84,9	83,9	74,5
Kriteria			SB	SB	SB	SB	B
Jumlah Total			790				
Skor Maks total			960				
%			82,29				
Kriteria			SB				

**DATA HASIL ANGGKET TANGGAPAN MAHASISWA TERHADAP ALAT
PERAGA PERPINDAHAN PANAS RADIASI
PADA MATA KULIAH PERPINDAHAN KALOR DASAR
SEMESTER GANJIL TAHUN AJARAN 2014/2015**

No.	NIM	Nama Responden	Butir Soal				
			1	2	3	4	5
1	5212413056	Eko Aprilianto	2	4	4	4	3
2	5212413029	Dwi Pujasakti	4	3	3	3	3
3	5212413028	Muhammad Adi Puryadi	4	3	4	3	4
4	5212413010	Amry Wicaksana	4	4	4	3	4
5	5212413002	Imam Rudianto	4	3	3	3	4
6	5212413016	M. Anwar Anas	3	3	3	4	3
7	5212413013	Rendi Yulianto	3	3	4	3	3
8	5212413011	Giri Susilo	4	2	3	2	3
9	5212413009	Fahmi Nurul Yahya	4	3	3	3	3
10	5212413014	Muhammad Fadhil	3	3	4	4	3
11	5212413005	Afri Mukti Pribadi	4	2	4	3	4
12	5212413040	Kharis Munandar	4	4	3	3	3
13	5212413061	Jeri Pranio	4	4	4	4	4
14	5212413042	Ahmad Sigit Affandi	4	3	4	3	3
15	5212413007	M. Iwan Setiawan	4	3	4	4	4
16	5212413039	Fahma Ilmian S.	3	3	3	3	3
17	5212413043	Galuh Nur Budiandono	4	4	4	4	3
18	5212413037	Dhimas Moehammad D.	4	4	4	3	3
19	5212413047	Fahmi Abdullah Naafi'	3	4	4	3	3
20	5212413055	Thomas Rivaldhi	3	3	3	3	3
21	5212413038	Senthot Dhimas W.R.	4	3	4	4	4
22	5212413054	M. Adi Nugroho	4	4	4	4	4
23	5212413057	Desca Laily Jehan	4	4	4	4	3
24	5212413035	Naftali Ricky Y.	4	4	4	4	4
25	5212413012	Abdul Rokhim	3	3	4	4	4
26	5212413050	Ahmad Ghani Muzakki	4	3	4	4	3
27	5212413060	Rifki Imanudin Ilham	4	3	4	4	4
28	5212413045	Achmad Arif Ikhwani	4	4	4	4	4
29	5212413063	Panca Ariana	4	4	4	4	4
30	5212413059	Nobertus Dodi	4	3	4	4	4
31	5212413018	Setyo Haryadi	4	3	3	4	3

32	5212413070	M. Gifani Al Qadry	4	3	3	3	3
33	5212413001	M. Azhar Rizki	3	4	4	4	4
34	5212413021	Bagus Setiawan	3	2	3	2	2
35	5212413032	Burhanuddin W.	4	3	3	2	3
36	5212413024	Cahya Budi W.	3	3	3	3	2
37	5212413033	Adib Abdillah	4	4	3	3	2
38	5212413019	Aminullah Ahmad	3	2	3	3	3
39	5212413017	Dwi Apit H.	3	2	4	3	3
40	5212413015	Dwi Nanda Bayu Krisna	3	2	3	3	3
41	5212413026	Bagus Adi Pratama	3	3	3	3	4
42	5212413023	Elan Prasa Dewa	4	3	3	3	3
43	5212413003	M. Zainal Arifin	3	3	3	4	4
44	5212413048	Harry Soekarno Putra	4	3	4	4	4
45	5212413044	Hilya Hamzah R.	4	4	4	4	4
46	5212413065	Ahmad Yusron	4	4	4	4	3
47	5212413020	Lukman Haqim	3	3	2	3	3
48	5212413064	Alam Saputra S.	4	4	4	4	4
Jumlah			174	155	171	164	161
Rerata			3,63	3,23	3,56	3,42	3,35
Skor Maks			192	192	192	192	192
%			90,6	80,7	89,1	85,4	83,9
Kriteria			SB	B	SB	SB	SB
Jumlah Total			825				
Skor Maks total			960				
%			85,94				
Kriteria			SB				

DOKUMENTASI PENELITIAN

A. Alat Peraga Perpindahan Panas Radiasi dengan Variasi Spesimen Uji



B. Dokumentasi Uji Coba Penggunaan Media Pembelajaran pada Mata Kuliah Perpindahan Kalor Dasar



