

Pengaruh Perbedaan Material Terhadap Kemampuan Meradiasikan Kalor

Tony Koerniawan ^{1*)}; Dineke Dhea Syafira ¹; Emillius Krismawanto Purnomo Sasi ¹

1. Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

^{*)}Email: tony.koerniawan@itpln.ac.id

Received: 14 April 2022 | Accepted: 24 November 2022 | Published: 5 Desember 2022

ABSTRACT

Material is a basic thing in making something more complex. These materials have the ability to deliver heat respectively. In this study, 6 materials will be measured for temperature, namely colorful electrical insulation (red, blue, white, green, yellow, black), white painted wood, plain wood, polycarbonate, aluminum polish, and aluminum dull. Each of these materials has different emissivity values so the ability to radiate heat is different. The method used is to take temperature measurements with infrared thermography which can capture heat radiation from materials with different wavelengths emitted by each material. The results of this study indicate that a material with a high emissivity of 0.95 can radiate heat with a temperature of 49,4°C and a material with the lowest emissivity of 0.17 can radiate heat of 29,1°C. So that the greater the emissivity of the material, the ability to radiate greater heat too, and if the smaller the emissivity, the ability to radiate heat is very small.

Keywords: Emissivity, Thermography Camera, Material

ABSTRAK

Material adalah suatu bahan dasar dalam membuat sesuatu menjadi benda yang lebih kompleks. Pada material tersebut memiliki kemampuan untuk menghantarkan kalor masing-masing. Pada penelitian ini ada 6 material yang akan diukur temperturnya yaitu isolasi elektrik warna-warni (merah, biru, putih, hijau, kuning, hitam), kayu dicat putih, kayu polos, polikarbonat, polish aluminium, dan dull aluminium. Masing-masing material tersebut memiliki nilai emisivitas berbeda-beda sehingga kemampuan meradiasikan kalornya berbeda pula. Metode yang digunakan adalah melakukan pengukuran temperatur dengan infrared thermography yang dapat menangkap radiasi kalor dari material dengan panjang gelombang yang dipancarkan masing-masing material yang berbeda. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa material yang memiliki emisivitas tinggi sebesar 0,95 dapat memancarkan panas dengan temperatur 49,4°C dan material dengan emisivitas terendah sebesar 0,17 dapat memancarkan panas sebesar 29,1°C. Sehingga semakin besar emisivitas material maka kemampuan dalam meradiasikan kalor besar pula dan apabila semakin kecil emisivitasnya maka kemampuan dalam meradiasikan kalor sangat kecil.

Kata kunci: Emisivitas, Kamera Inframerah, Material.

1. PENDAHULUAN

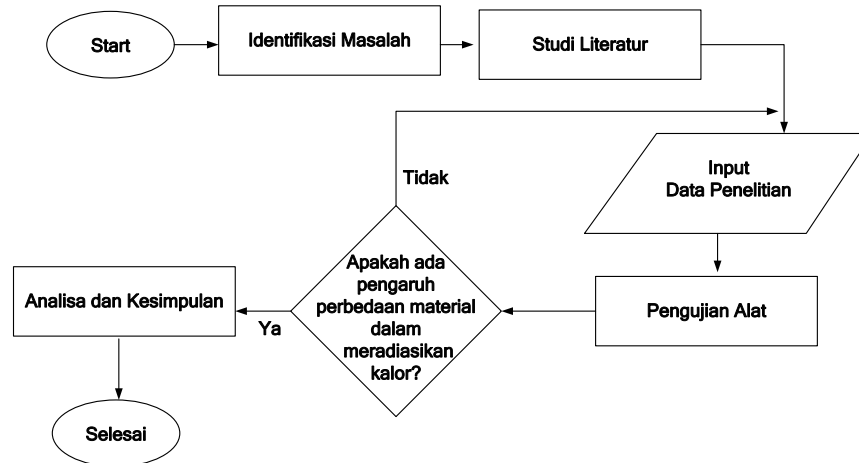
Di dunia ini memiliki berbagai macam material dengan sifat yang berbeda-beda. Material adalah suatu bahan dasar dalam membuat sesuatu menjadi benda yang lebih kompleks. Pada material tersebut memiliki kemampuan untuk menghantarkan kalor masing-masing [1]. Apabila masing-masing material dapat menghantarkan kalor dan dapat menyimpan panas didalam material tersebut maka perbedaan temperatur material cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur lingkungan [3]. Pada penelitian ini menggunakan berbagai macam material seperti isolasi listrik dengan berbagai warna, kayu yang dicat maupun yang tidak dicat, aluminium mengkilap, dan aluminium buram. Material tersebut memiliki kemampuan meradiasikan kalor yang berbeda-beda tergantung terhadap emisivitas dari masing-masing materialnya. Proses material tersebut meradiasikan kalor yaitu dimana masing-masing material menyerap kalor dari papan aluminium yang panas setelah itu setiap material memancarkan kalor yang besarnya berbeda-beda sesuai dengan emisivitas dari material tersebut [5]. Pemancaran kalor masing-masing material menghasilkan gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda sehingga gelombang yang tertangkap kamera tersebut temperatur setiap material berbeda-beda pula [4].

Pendeteksian temperatur tersebut bisa dibantu dengan menggunakan kamera thermography [1]. Thermography adalah suatu teknik untuk mendeteksi temperatur yang berada pada suatu material yang dimana material tersebut meradiasikan panasnya ke lingkungan sehingga dapat ditangkap oleh kamera *thermography*. Kamera *thermography* dapat mendeteksi temperatur dengan lebih baik karena menggunakan kamera inframerah. Temperatur yang ditangkap oleh kamera thermography berbeda-beda karena dipengaruhi oleh emisivitas masing-masing benda tersebut. Emisivitas adalah kemampuan suatu material untuk memancarkan atau meradiasikan panas ke lingkungan dengan menggunakan gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda [2]. Material yang memiliki emisivitas paling tinggi akan meradiasikan kalor yang besar biasanya dimiliki oleh benda berwarna hitam. Nilai emisivitas berada diantara 0 sampai 1 dimana pada emisivitas 1 dimiliki oleh benda hitam [3].

Kemampuan meradiasikan kalor setiap material bisa terlihat dari intensitas radiasi dan daya radiasi suatu material. Intensitas radiasi adalah jumlah daya yang dipancarkan suatu benda setiap satuan luas material tersebut [3]. Intensitas radiasi ini menunjukkan besar daya radiasi kalor yang dipancarkan suatu material per satuan luas material tersebut. Daya radiasi adalah jumlah energi dalam memancarkan kalor pada total luas suatu material. Sehingga untuk daya radiasi juga tidak hanya dipengaruhi oleh emisivitas dan temperatur tetapi total luas permukaan suatu material [2]. Pada penelitian sebelumnya pengukuran hanya dilakukan tanpa melihat faktor eksternal dan tidak menghindari faktor tersebut tetapi dalam penelitian ini memperhitungkan faktor lain yang memengaruhi dalam pengambilan data [4]

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Proses penelitian ini meliputi pengambilan data kuantitatif setelah pengujian alat simulasi *emissivity* dengan menggunakan *infrared thermography* dalam mengukur temperatur pada setiap material.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Infrared Thermography

Infrared Thermography yang digunakan pada penelitian ini bermerk Flir tipe E60. *Infrared Thermography* adalah suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi radiasi dari suatu material yang temperaturnya akan ditangkap oleh kamera tersebut dimana setiap benda tersebut memancarkan gelombang inframerah [12]. Temperatur yang diukur oleh *infrared thermography* adalah temperatur dari permukaan tersebut. *Infrared Thermography* tidak mengambil semua energi yang dipancarkan oleh material tersebut tetapi hanya beberapa panjang gelombang saja atau panjang gelombang pada rentang tertentu [7].



Gambar 2. Kamera FLIR E60

Tabel 1. Spesifikasi FLIR E60

Temperatur Pengukuran	-4°F sampai 1.202°F
Tingkat Akurasi	±2% atau 2°C
Interface Touchscreen	Yes
Ukuran LCD	3 inch 320 x 240
Lensa	Standard: 25° Optional: 15° Tele, 45° Wide dan 4x Continuous Digital Zoom
Kapasitas baterai apabila digunakan	4 Jam

(Sumber : Flir Direct)

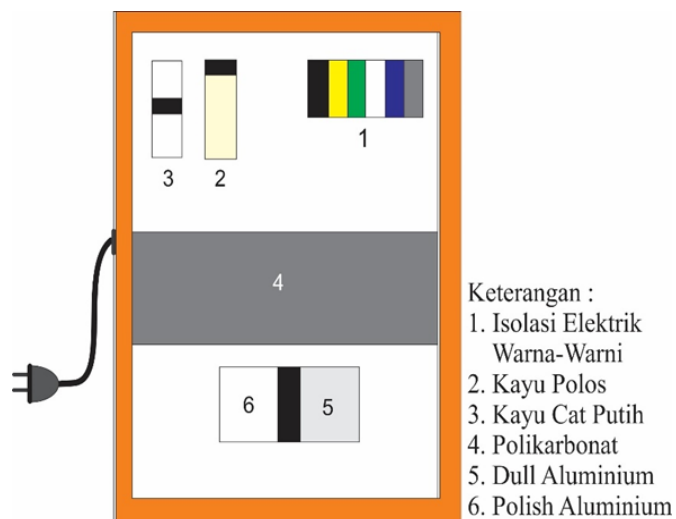
2.2. Emisivitas

Emisivitas adalah kemampuan suatu material untuk memancarkan atau meradiasikan kalor dengan temperatur yang relatif sama. Kemampuan meradiasikan kalor sebanding dengan kemampuan menyerap kalor dari sumbernya. Suatu benda hitam memiliki nilai emisivitas sebesar 1 ($e = 1$) sementara untuk objek lain memiliki emisivitas di bawah 1 [6]. Pada dasarnya, apabila semakin hitam suatu material dan semakin buram maka akan memiliki emisivitas yang sangat tinggi dan sebaliknya apabila nilai refleksi dari suatu material besar maka nilai emisivitas cenderung kecil dan hampir mendekati 0 [2]. Nilai emisivitas suatu material bergantung sekali terhadap karakteristik material tersebut. Berikut ini adalah nilai emisivitas yang dimiliki material dalam penelitian ini.

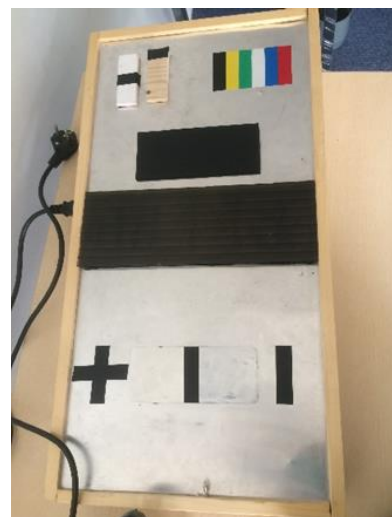
Tabel 2. Nilai Emisivitas Material Uji [2]

No	Material	Emisivitas
1	Isolasi Elektrik	0,95
2	Kayu Cat Putih	0,90
3	Kayu polos	0,82
4	Polikarbonat	0,8
5	<i>Polish</i> Aluminium	0.17
6	<i>Dull</i> Aluminium	0,22

2.3. Gambaran Umum Alat



Gambar 3. Layout Alat Simulasi

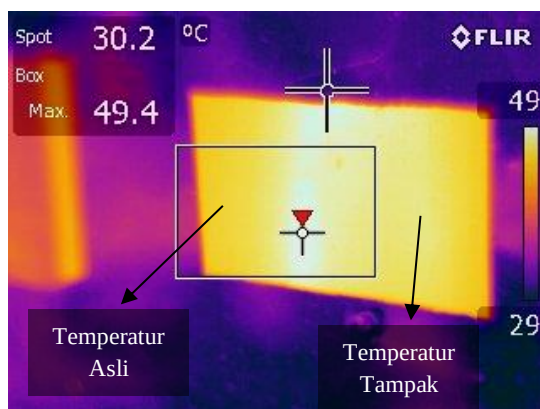


Gambar 4. Visual Alat Simulasi

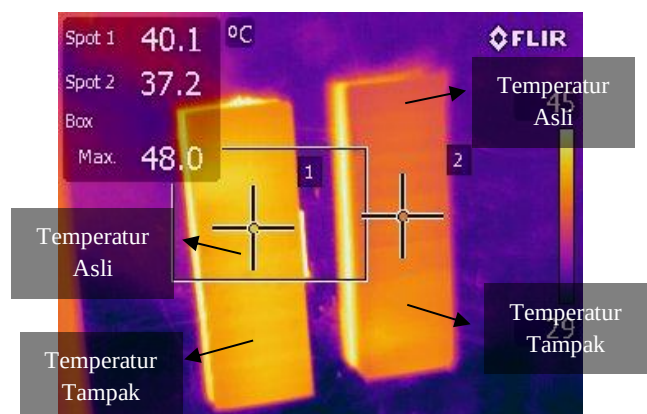
Pada alat tersebut dilapisi oleh aluminium dimana nanti aluminium sebagai penghantar kalor sumber panas lempengan aluminium berasal dari pemanas yang diberi tegangan AC 220 V. Kalor dari sumber tersebut menyebarkan menuju ke seluruh permukaan sehingga material-material uji mendapatkan panas dari lempengan aluminium tersebut [9]. Lalu diatas permukaan aluminium

tersebut terdapat 6 material yaitu kayu yang sudah dicat, kayu polos, isolasi elektrik dengan 5 warna, polikarbonat, aluminium mengkilat, dan aluminium buram. Masing-masing material diberi isolasi hitam untuk menunjukkan temperatur asli dari benda tersebut. Keenam material tersebut memiliki emisivitas yang berbeda-beda sehingga dalam meradiasikan kalornya pun berbeda-beda [8]. Setelah keenam material tersebut mendapatkan kalor dari lempengan aluminium besar selanjutnya setiap material meradiasikan kalor masing-masing setelah itu ditangkap oleh kamera *thermography* dimana pada kamera tersebut menangkap gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda. Perbedaan gelombang elektromagnetik setiap material tidak jauh berbeda sehingga temperatur yang ditangkap pula tidak jauh berbeda. Isolasi elektrik dibagi menjadi 6 warna yang berfungsi untuk mengetahui apakah warna memengaruhi dalam meradiasikan kalor, pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali dan menghasilkan data temperatur yang sama.

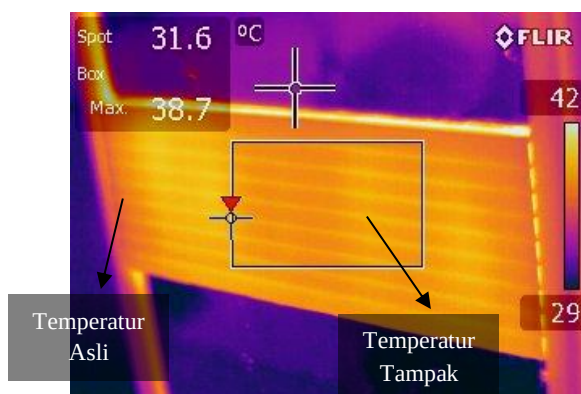
2.4. Pengukuran Dengan Kamera *Thermography*



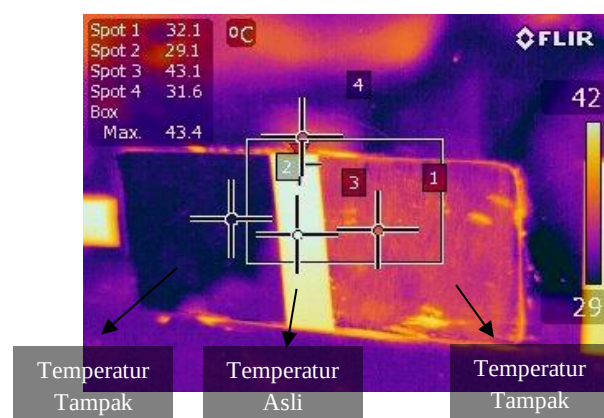
Gambar 5. Material Isolasi Elektrik



Gambar 6. Material Kayu yang Dicat Putih dan Kayu Polos



Gambar 7. Material Polikarbonat



Gambar 8. Material Aluminium *Polish* dan *Dull*

Gambar 5, 6, 7, dan 8 menunjukkan pengukuran dengan menggunakan kamera *thermography* yang dimana pada gambar 5 merupakan isolasi elektrik dengan 6 warna menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan temperatur dari masing-masing isolasi karena warna tidak memengaruhi material dalam meradiasikan kalor. Gambar 6 adalah gambar kayu yang dicat berwarna putih dengan kayu polos dimana sebelah kanan adalah kayu polos dan bagian kiri adalah kayu yang telah dicat. Gambar

7 adalah polikarbonat berwarna hitam dengan ketebalan 1 cm. Gambar 8 adalah material aluminium dimana bagian kanan adalah aluminium yang buram sedangkan bagian kiri adalah aluminium yang mengkilap [9]. Pada masing-masing material diberi isolasi elektrik berwarna hitam berfungsi untuk menunjukkan temperatur asli dari masing-masing material dengan yang emisivitas yang dimiliki oleh isolasi hitam sangat tinggi. Sedangkan material yang tidak dilindungi oleh isolasi hitam adalah temperatur tampak dari material tersebut dengan emisivitas yang berbeda-beda.

2.5. Pengolahan Data

Data yang didapatkan adalah data emisivitas material, temperatur material, dan luas masing-masing material. Untuk menghitung nilai intensitas iradiasi dan daya iradiasi suatu benda menggunakan rumus Hukum *Stefan Boltzman* [10] :

$$I = e \sigma T^4 \quad (1)$$

Dimana :

I adalah intensitas radiasi (Watt/m²)

e adalah emisivitas (0 s.d 1)

σ adalah konstanta *Stefan Boltzman* ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

$$P = I A = e \sigma A T^4 \quad (2)$$

Dimana :

P adalah daya radiasi (Watt)

A adalah luas penampang (m²)

Dari persamaan 1 dan 2 dapat diketahui daya radiasi dan intensitas radiasi yang dimiliki suatu material dengan emisivitas yang berbeda-beda pada penelitian kali ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil pengukuran

Pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali dan didapat data hasil yang sama. Hasil pengukuran ini ditunjukkan pada tabel 3 dengan 6 material yang berbeda-beda dan juga masing-masing material memiliki emisivitas yang berbeda-beda sesuai dengan tabel 2. Hasil pengukuran ditunjukkan seperti pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Material

No	Material	Temperatur Asli (°C)	Temperatur Tampak (°C)
1	Isolasi elektrik warna-warni	49.4	49.4
2	Kayu dicat putih	40.1	40.1
3	Kayu polos	37.2	37.2
4	Polikarbonat	38.7	38.7
5	<i>Polish</i> Aluminium	43.1	29.1
6	<i>Dull</i> Aluminium	43.1	32.1

Pada tabel 3 menunjukkan data pengukuran setiap material dimana terdapat 2 temperatur yang berbeda yaitu temperatur asli dengan temperatur tampak. Pada temperatur asli yaitu dengan menggunakan isolasi elektrik berwarna hitam sehingga dapat memancarkan kalor yang hampir mendekati besar kalor yang diserap. Pada isolasi berwarna hitam tersebut menunjukkan nilai emisivitas yang tinggi dikarenakan emisivitasnya mendekati 1 dimana isolasi berwarna hitam dapat memancarkan radiasi yang besar sehingga dapat ditangkap oleh alat *thermography*. Sedangkan untuk temperatur tampak menunjukkan nilai temperatur yang tampak dimana bergantung pada emisivitas masing-masing material yang digunakan [11].

Pada isolasi warna-warni yaitu berwarna merah, biru, putih, hijau, kuning, dan hitam menunjukkan temperatur asli dan tampak besarnya sama karena warna tidak memengaruhi suatu material dalam meradiasikan kalor. Hal itu menunjukkan bahwa perbedaan warna tidak akan mempengaruhi proses radiasi kalor. Pada kayu dicat putih memiliki temperatur asli dan tampak yang sama karena kayu dan isolasi hitam memiliki besar emisivitas yang tinggi dan hal tersebut juga berlaku untuk kayu polos. Beda temperatur antara kayu dicat putih dengan kayu polos dimana lebih tinggi temperatur pada kayu yang dicat karena hal tersebut bergantung terhadap emisivitas kayu tersebut apabila kayu yang dicat dapat menambah emisivitas suatu material tersebut karena nilai keburaman material tersebut lebih tinggi. Pada material polikarbonat memiliki nilai temperatur yang tinggi karena emisivitas dari material ini tinggi pula. Pada polish aluminium menunjukkan bahwa nilai temperatur asli lebih tinggi daripada temperatur tampak karena pada material ini memiliki nilai refleksi yang besar sehingga menimbulkan berkurangnya nilai emisivitas [9]. Pada material ini dalam melakukan pengukuran yang berhati-hati karena sifat refleksi yang tinggi terkadang material ini mengukur temperatur pantulan panas dari benda lain sehingga tidak boleh mengabaikan faktor luar. Pada material *dull* aluminium besar temperatur asli dan tampak yang berbeda pula dikarenakan nilai refleksi dari aluminium yang cukup besar sehingga nilai emisivitas rendah. Meskipun sama aluminium pada polish aluminium dengan *dull* aluminium tetapi memiliki temperatur yang berbeda karena pada *dull* aluminium lebih buram sehingga nilai emisivitasnya meningkat [13].

Dari tabel 3 yaitu menghasilkan pengukuran temperatur maka dapat dilakukan pengolahan data pada tabel 1 dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) yang ditunjukkan pada tabel 4 di bawah ini.

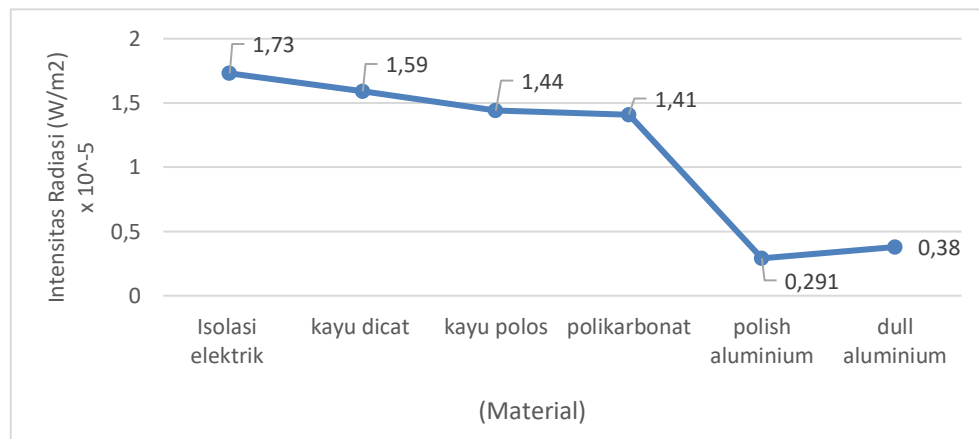
Tabel 4. Hasil Perhitungan Intensitas Radiasi dan Daya Radiasi Material

No	Material	I (watt/m ²)	P (watt)
1	Isolasi elektrik warna-warni	$1,73 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^{-8}$
2	Kayu yang dicat	$1,59 \times 10^{-5}$	$5,84 \times 10^{-8}$
3	Kayu polos	$1,44 \times 10^{-5}$	$4,58 \times 10^{-8}$
4	Polikarbonat	$1,41 \times 10^{-5}$	$8,46 \times 10^{-7}$
5	Polish Aluminium	$2,91 \times 10^{-6}$	$4,88 \times 10^{-9}$
6	Dull Aluminium	$3,80 \times 10^{-6}$	$6,39 \times 10^{-9}$

Pada tabel 3 dipaparkan data-data yang diperoleh dengan menggunakan alat *thermography* dimana besar temperatur berbeda-beda bergantung terhadap besar emisivitas masing-masing material. Pada material aluminium yang mengkilap menunjukkan nilai emisivitas yang rendah jadi sesuai dengan penjelasan diatas menunjukkan nilai refleksinya besar [14]. Sebaliknya, apabila emisivitas suatu benda besar maka refleksi dari material tersebut sangat kecil karena emisivitas berbanding terbalik dengan refleksi. Material yang memiliki refleksi tinggi adalah aluminium

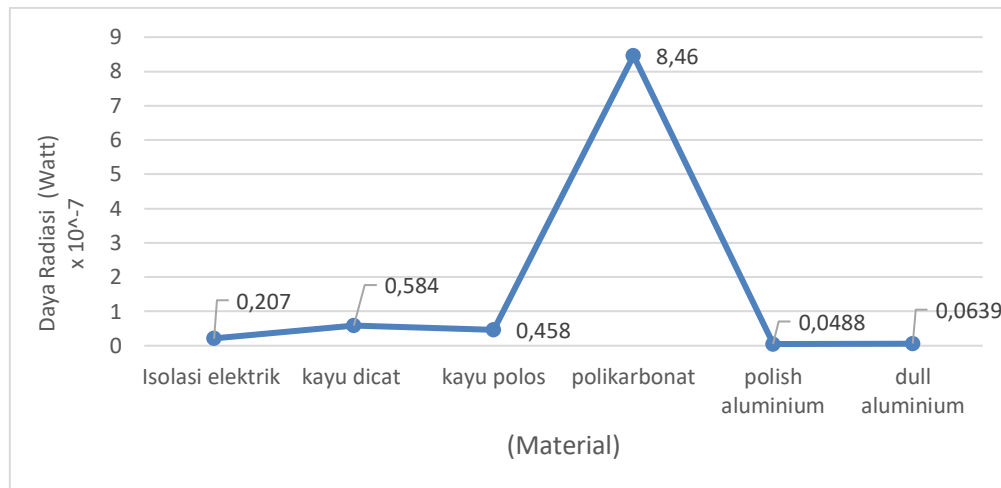
sedangkan yang memiliki refleksi rendah adalah isolasi elektrik, kayu, dan polikarbonat. Pada tabel 4 menunjukkan intensitas radiasi material dan daya radiasi material dengan menggunakan hukum *Stefan-Boltzman*. Pada intensitas radiasi suatu material adalah kemampuan suatu material tersebut memncarkan kalor yang diterimanya sehingga pada intensitas radiasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu emisivitas, konstanta *Boltzman*, dan temperatur. Berdasarkan faktor tersebut terlihat bahwa apabila emisivitas rendah maka temperatur akan besar dibuktikan pada tabel 2 dan tabel 3 dan untuk intensitas radiasi sebanding dengan emisivitas yang dimiliki oleh material tersebut dimana apabila emisivitas rendah maka intensitas dalam meradiasikan kalor sangat rendah dan sebaliknya apabila emisivitas besar maka intensitas radiasi besar sesuai dengan tabel 4. Sehingga emisivitas pada suatu material sangat menentukan untuk pengukuran temperatur dan meradiasikan kalor.

Pada tabel 4 menunjukkan daya radiasi suatu benda tidak hanya sekedar bergantung terhadap emisivitas benda tersebut tetapi juga sangat bergantung terhadap luas penampang yang digunakan. Terlihat pada tabel 4 bahwa polikarbonat yang memiliki daya radiasi yang besar meskipun emisivitasnya tidak sebesar plester elektrik sehingga pada material polikarbonat dapat memencarkan daya radiasi yang besar pada setiap permukaannya. Tetapi daya radiasi yang dimiliki oleh penampang yang lebih kecil maka menunjukkan daya radiasi yang kecil pula. Sehingga, semakin besar suatu penampang maka nilai daya radiasi besar pula dan juga dikombinasikan dengan emisivitas yang besar pula.



Gambar 9. Grafik Intensitas Radiasi Material

Pada tabel 4 dikonversikan menjadi grafik pada gambar 9 dan 10 dimana pada grafik tersebut menunjukkan gambar 9 yang memiliki nilai emisivitas yang tinggi maka akan menghasilkan intensitas radiasi material yang besar yaitu isolasi elektrik dimana bernilai $1,73 \times 10^{-5}$ Watt/m² dan untuk *polish aluminium* memiliki nilai emisivitas paling rendah sehingga nilai intensitas radiasinya sebesar $2,91 \times 10^{-6}$ Watt/m².



Gambar 10. Grafik Daya Radiasi Material

Sedangkan pada gambar 10 menunjukkan grafik daya radiasi suatu material dimana yang paling tertinggi adalah polikarbonat yaitu $8,46 \times 10^{-7}$ Watt yang menunjukkan bahwa emisivitas, temperatur, dan luas penampang yang besar. Selanjutnya yang memiliki daya radiasi terendah adalah $4,88 \times 10^{-9}$ Watt pada material *polish* aluminium karena memiliki emisivitas, temperatur yang rendah serta didukung dengan luas penampang yang kecil pula.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada intensitas radiasi dari suatu material dipengaruhi oleh emisivitas dan temperatur dari material tersebut dimana apabila emisivitas tinggi maka intensitas radiasi besar dan sebaliknya apabila emisivitas rendah maka intensitas radiasi juga rendah pula. Pada daya radiasi material dipengaruhi oleh emisivitas, temperatur, dan luas permukaan benda dimana semakin besar luas permukaan material dan emisivitas tinggi maka daya yang dipancarkan suatu material juga besar pula dan sebaliknya apabila luas permukaan dan emisivitas rendah maka daya yang dipancarkan rendah pula. Intensitas radiasi material yang paling besar pada percobaan ini adalah plester elektrik yaitu $1,73 \times 10^{-5}$ dengan emisivitas sebesar 0,95 sedangkan intensitas radiasi material yang terkecil adalah $2,91 \times 10^{-6}$ dengan emisivitas sebesar 0,17. Pada penelitian ini material yang memiliki daya radiasi terbesar adalah polikarbonat sebesar $8,46 \times 10^{-7}$ dan yang terkecil adalah $4,88 \times 10^{-9}$ karena untuk daya radiasi suatu benda dipengaruhi oleh emisivitas, temperatur, dan luas penampang benda.

Saran pada penelitian selanjutnya agar digunakan beberapa material yang berbeda, agar hasil penelitian lebih akurat, kemudian sudut pengukuran sebaiknya pada posisi tegak lurus dengan bidang yang akan diukur untuk mengurangi efek pantulan inframerah dari lingkungan sekitar. Penelitian ini dapat menjadi referensi untuk pengembangan khususnya di dunia kelistrikan dengan material yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada *SMARTGATE* atas kesempatan yang telah diberikan dalam proses pengambilan data untuk alat simulasi *emissivity* sehingga penelitian ini dapat selesai dan berguna untuk pengembangan penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Deddy, “Pengaruh Emissivity Terhadap Hasil Pengukuran Pada Sistem Dengan Menggunakan Kamera Inframerah,” 2002.
- [2] D. Halliday, *Fundamentals of Physics*, United States of America, 2003.
- [3] H. A. M, *Biginning Physics I*, United States of America, 1995.
- [4] K. K. P. T. A. W. Ragil., “Pengaruh Suhu dan Metode Perlakuan Panas Terhadap Sifat Fisika dan Kualitas Finishing Kayu Mahoni,” vol. Volume 8 No. 2, 2014.
- [5] A. M. M. F. U. Cariti Dassa., “Penentuan Nilai Emisivitas Warna Menggunakan Penerangan Pada Miniatur Ruang Berbentuk Kubus,” 2017.
- [6] I. Z. V. G. N. K. Vladimir Arkhipov, “Measurement Procedure for Surface Emissivity of Heat-Shielding Materials.,” vol. 92, 2017.
- [7] T. E. Ariceta, “Infrared spectral emissivity studies on metals and materials for solar thermal applications,” 2016.
- [8] R. R. F. N. J. Kharis Burhani, “Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi Dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji,” *Journal of Mechanical Engineering Learning*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [9] D. N. K. L. K. Emod FILEP, “Method for Emissivity Estimation of Metals,” *Acta Materialia Transilvanica*, 2018.
- [10] T. A. F. Turaeva Ulmasoy Farmonovna, “The Determination of Emissivity T A Stationary Method,” *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 8, no. 1, 2021.
- [11] P. E. M. a. A. W. J.M Jones, “A compilation of data on the radiant emissivity of some materials at high temperatures,” *Journal of the Energy Institute*, vol. 92, no. 3, 2019.
- [12] J. S. F. C. P. V. M. K. Petr Alexa, “Infrared thermographic measurement of the surface temperature and emissivity of glossy materials,” *Journal of Building Physics*, vol. 41, no. 6, 2018.
- [13] Y. Z. L. W. H. L. L. S. Jiayu Ma, “An apparatus for spectral emissivity measurements of thermal control materials at low temperatures,” *Materials*, vol. 12, no. 7, 2019.
- [14] F. Liebmann, “Determination of Emissivity by Use of Reflected Thermal Radiation,” *NCSLI Measure*, vol. 10, no. 1, 2015.