

# Jurnal Arsitektur ARCADE 654

*by* Karto Wijaya

---

**Submission date:** 30-Jan-2021 03:03AM (UTC-0500)

**Submission ID:** 1480333316

**File name:** 654-1269-1-SM.pdf (296.31K)

**Word count:** 2624

**Character count:** 17258

# KOMPARASI PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*) MATERIAL DINDING DENGAN SIMULASI THERM

<sup>1</sup>  
Aria ZADP, LMF Purwanto

Program Studi Doktor Arsitektur,

Fakultas Arsitektur dan Desain

UNIKA Soegijapranata Semarang

Jl Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Duwur, Semarang – 50234, Indonesia

Email: [ariazabdi@gmail.com](mailto:ariazabdi@gmail.com)

## Abstract

Understanding materials heat transfer ease designers to make decisions in design stages, related to materials, costs and comfort to be achieved. Nowadays, understanding heat transfer does not have to be done by performing complex calculations, many simulation software have been created to perform heat transfer analysis with a friendly user interface. Moreover, the output of heat transfer simulation and analysis produces images that are easier to understand visually, such as flux vector displays, temperature boundaries to infrared color grading that make it easier for users to read the simulation results. THERM is a heat transfer simulation software developed by the Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California in collaboration with the US Department of Energy. With the license-free usage, this software has the potential to be used optimally by designers and academics who have an interest in heat transfer analysis. This research is expected to provide an overview of the potential use of THERM software for modeling and analysis of heat transfer. The THERM software can be a good alternative for conducting research for academics and practitioners alike, given its ease of use, free licensing and accuracy. THERM produces simulation output with detailed and easy-to-understand visualizations. In testing with simulation, it is found that the material with the lowest density and thermal conductivity has the highest heat insulation power. Walls with light brick material show a significant effect in heat insulation compared to walls with concrete brick and red brick (fire-brick) material.

**Keyword:** wall, heat transfer, simulation, therm

## Abstrak

Memahami perpindahan panas pada material mempermudah perancang untuk mengambil sebuah keputusan dalam perancangan, terkait dengan material, biaya dan kenyamanan yang akan dicapai. Dewasa ini, pemahaman terhadap perpindahan panas tidak harus dilakukan dengan melakukan perhitungan yang kompleks, banyak perangkat lunak simulasi telah diciptakan untuk melakukan analisis terhadap perpindahan panas dengan antar muka pengguna (*user interface*) yang bersahabat. Lebih dari itu output dari simulasi dan analisis perpindahan panas menghasilkan citra yang lebih mudah dipahami secara visual, seperti tampilan *vector flux*, garis batasan temperatur hingga *infrared color grading* yang mempermudah pengguna dalam membaca hasil simulasi. THERM adalah salah satu perangkat lunak simulasi perpindahan panas yang dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California bekerja sama dengan US Department of Energy. Dengan penggunaan bebas lisensi (tidak berbayar), perangkat lunak ini berpotensi untuk digunakan secara maksimal oleh perancang maupun akademisi yang memiliki minat terhadap analisis perpindahan panas. Penelitian ini diharapkan memberikan gambaran potensi penggunaan perangkat lunak THERM untuk melakukan modelan dan analisis perpindahan panas. Perangkat lunak THERM dapat menjadi alternatif yang baik untuk melakukan penelitian bagi akademisi maupun praktisi, mengingat kemudahan pemakaian, lisensi tidak berbayar dan keakuratan yang diberikan. THERM menghasilkan output simulasi dengan visualisasi yang detail dan mudah dipahami. Dalam pengujian dengan simulasi, didapat bahwa material dengan berat jenis dan nilai konduktivitas termal terendah memiliki daya insulasi panas tertinggi. Dinding dengan material bata ringan menunjukkan efek signifikan dalam menginsulasi panas dibandingkan dengan dinding dengan material batako maupun bata merah.

**Kata kunci:** dinding, perpindahan panas, simulasi, therm

## PENDAHULUAN

Perancangan bangunan di negara berkembang sangat minim memperhatikan kondisi iklim. Faktor-faktor seperti karakteristik lahan,

lingkungan, orientasi, dan material bangunan mendapatkan perhatian yang sangat kurang. Sebagai akibatnya, iklim dalam bangunan yang tercipta terganggu, bahkan dapat

mempengaruhi kenyamanan, kesehatan dan efisiensi energi (Rosenlund, 2000). Kenyamanan termal adalah salah satu capaian yang diusahakan oleh perancang dalam mendesain bangunan. Pencapaian kenyamanan termal salah satu upaya untuk memastikan ruang yang diciptakan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Dalam rangka mendapatkan rancangan yang memenuhi kaidah kenyamanan termal, akan menjadi suatu kelebihan dalam mendesain apabila perancang dibekali dengan pengetahuan yang memadai terkait faktor-faktor yang membentuk kenyamanan termal.

### Perpindahan Panas dalam Bangunan

Perpindahan panas merupakan salah satu faktor yang penting untuk dipertimbangkan dalam membentuk kenyamanan termal bangunan (Cui et al., 2019). Mempelajari perpindahan panas merupakan hal mutlak yang berlaku universal, tidak hanya di wilayah atau negara dengan iklim tertentu, tetapi berlaku baik untuk negara dengan empat iklim maupun dua iklim atau iklim tropis. Pada daerah empat musim, perhitungan perpindahan panas diperlukan untuk menginsulasi bangunan dari kebocoran termal yang mengakibatkan cuaca dingin masuk ke dalam ruang, sedangkan pada wilayah tropis, perhitungan perpindahan panas dilakukan untuk menghitung panas yang merambat melalui selubung bangunan akibat terpaan sinar matahari. (Purwanto, 2019) Menurut Rosenlund, beberapa hal yang mempengaruhi insulasi panas bangunan terkait material adalah: (Rosenlund, 2000)

- Kepadatan material (*density*), atau disebut juga massa jenis, memiliki satuan  $\text{kg/m}^3$ . Kepadatan material memiliki peran yang cukup besar dalam menginsulasi panas, semakin kecil kepadatan suatu material akan semakin tinggi kemampuannya dalam menginsulasi panas.
- Konduktivitas termal (*thermal conductivity*), memiliki satuan  $\text{W/mK}$ , menunjukkan kemampuan suatu material dalam merambatkan panas. Semakin tinggi nilai konduktivitas termalnya, semakin rendah daya insulasinya.
- Kapasitas panas (*specific heat capacity*), memiliki satuan  $\text{Wh/kgK}$ , mengindikasikan kemampuan material dalam menyimpan (atau melepas) panas, semakin tinggi nilai kapasitas panas, semakin tinggi juga kemampuan untuk menyimpan panas.

### Material Dinding dan Konsumsi Energi Bangunan

Secara umum di Indonesia dikenal beberapa jenis material dinding yang umum digunakan, diantaranya adalah batu bata merah, batako dan bata ringan (aerated concrete). Pemilihan material-material tersebut di dalam konstruksi dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah harga, kemudahan dan kecepatan pemasangan, kekuatan dan daya tahan. Hanya sedikit dari perancang atau pelaksana konstruksi yang melakukan pemilihan material berdasarkan properti termal dari material tersebut. Padahal pemilihan material berdasarkan properti termal dapat memberi berbagai nilai tambah bangunan, termasuk diantaranya kenyamanan termal.

Permasalahan kenyamanan termal akibat ketidaktepatan pemilihan material acapkali diselesaikan dengan memasang pendingin buatan (*air conditioner*) untuk mengupayakan kenyamanan termal, yang berdampak pada meningkatnya konsumsi energi bangunan. Hal ini didukung oleh Smith, yang menyatakan permasalahan termal pada bangunan akan meningkatkan penggunaan energi dalam bangunan (Smith, 2008). Untuk mengurangi konsumsi listrik pada mesin AC dapat dilakukan dengan mengurangi beban pendinginan. Pengurangan beban pendinginan pada AC dapat dilakukan dengan memiliki material dinding yang tepat (Irsyad et al., 2017). Dinding menggunakan material bata merah maupun batako tidak dapat mencapai kenyamanan termal untuk daerah tropis, akan tetapi, secara termal, penggunaan dinding bata merah lebih baik daripada penggunaan dinding batako (Mas Santosa & V. Totok Noerwasito, 2006).

Penggunaan bata ringan mulai marak hampir dua dekade yang lalu. Pemasaran bata ringan menjanjikan insulasi panas yang signifikan dibandingkan dengan material dinding konvensional seperti bata merah maupun batako.

### Perangkat Lunak Simulasi THERM 7.7

Penelitian menggunakan simulasi digital memberikan banyak manfaat dibandingkan dengan pengujian model skalatis konvensional. Mulai dari penghematan biaya, meminimalkan luasan lokasi yang digunakan, efisiensi waktu, hingga kemudahan dalam mengontrol berbagai variabel (Satwiko, 1999).

Dewasa ini banyak pengembang aplikasi menawarkan perangkat lunak untuk melakukan analisis termal pada bangunan, mulai dari Autodesk Ecotect Analysis (menghentikan pengembangan pada 2014), WUFI-2D, Sketchup Sefaira, THERM dan lain

sebagainya. Masing-masing perangkat lunak memiliki kelebihan dan limitasi, baik dari sisi lisensi dan harga, keandalan, kemudahan penggunaan dan keterbatasan model yang dapat disimulasikan. Autodesk Ecotect Analysis menghentikan pengembangan pada 2014 yang berarti tidak ada lagi dukungan dan pembaruan terkait kendala-kendala yang mungkin ditemui pengguna. WUFI-2D memiliki keterbatasan pada pemodelan sehingga tidak dapat menjamin detail dan akurasi dari simulasi (Purwanto & Tichelmann, 2018). Sketchup Sefaira memiliki biaya lisensi yang cukup tinggi sehingga mengerucutkan pengguna pada kelompok tertentu. THERM memiliki kemudahan dan keakuratan yang dapat diandalkan untuk melakukan simulasi perpindahan panas pada elemen bangunan yang dipilih (Purwanto, 2019).

THERM adalah program penghitung yang dikembangkan oleh Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) yang ditujukan untuk produsen atau manufaktur komponen bangunan, insinyur, pendidik, mahasiswa, arsitek dan siapapun yang memiliki ketertarikan terhadap perpindahan panas (*heat transfer*). THERM merupakan pemodelan 2D untuk melakukan analisis mengenai efek perpindahan panas pada komponen bangunan seperti jendela, dinding, pondasi, atap, pintu, peralatan dan benda-benda lain dimana perpindahan panas menjadi suatu pertimbangan.

Analisis perpindahan panas pada THERM dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi energi maupun pola lokal temperatur, yang dapat mempengaruhi banyak hal, diantaranya adalah kenyamanan. Analisis perpindahan panas secara konduksi pada THERM menggunakan metode elemen terbatas, yang dapat memodelkan berbagai geometri elemen bangunan. (LBNL, 2019)

Selain untuk melakukan analisis terhadap perpindahan panas, THERM dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap pencahayaan alami, kenyamanan visual, perolehan panas matahari (*solar heat gain*), dan sebagainya, dengan cara mengkombinasikan dengan perangkat lunak lain yang dirilis oleh vendor yang sama (LBNL), seperti Window, Resfen, Comfen, Radiance, AERCalc dan lain sebagainya.

## **METODE PENELITIAN**

Metode deskriptif-komparatif dipilih dalam penelitian ini untuk dapat menggambarkan proses penelitian. Komparasi dilakukan terhadap 3 (tiga) jenis dinding yang umum digunakan pada proyek konstruksi, yaitu

dinding bata, dinding batako, dan dinding bata ringan. Komparasi dilakukan dengan mensimulasikan ketiga jenis dinding tersebut dalam kondisi lingkungan (*boundary condition*) yang sama, sehingga terlihat bagaimana respon material terhadap perlakuan thermal yang diberikan oleh lingkungan sekitarnya.

### **Instalasi THERM 7.7**

File yang diperlukan untuk melakukan instalasi dapat diunduh pada alamat berikut [https://gaia.lbl.gov/software/window/THERM7\\_7\\_10\\_SetupFull.exe](https://gaia.lbl.gov/software/window/THERM7_7_10_SetupFull.exe). Sebelum melakukan instalasi, ada dua perangkat yang harus dipasang untuk dapat menggunakan perangkat lunak THERM, yaitu Microsoft Visual C++ dan Intel Fortran.

### **Pemodelan**

THERM merupakan simulasi 2D, sehingga model yang dibuat mengikuti format 2D. Model dibuat melalui perangkat lunak AutoCAD, untuk menggambar penampang/potongan 2D dari 3 (tiga) jenis dinding yang telah ditetapkan sebelumnya. Penampang dinding 2D yang telah dibuat disimpan dalam format .DXF atau Drawing Interchange Format, agar dapat di-tracing (*underlay*) untuk proses *re-modelling* pada perangkat lunak THERM. THERM memiliki keterbatasan kompatibilitas dengan perangkat lunak lain, sehingga hanya beberapa *format file* tertentu yang dapat dibaca. Pemodelan THERM merupakan salah satu tahapan krusial. Ketidakpresisian model mengakibatkan munculnya peringatan dan simulasi tidak dapat dijalankan.

### **Penentuan Material (Material Setting)**

THERM memiliki library material standar yang umum digunakan di konstruksi, tetapi material dapat ditambahkan pada library jika material yang ditentukan tidak terdapat dalam library tersebut. Tahapan dilanjutkan dengan menyisipkan material pada model 2D yang telah dibuat sebelumnya. Untuk membuat material baru, dalam properti material terdapat nilai-nilai yang harus dimasukkan, seperti nilai konduktivitas termal material dan nilai emisivitas material (Mikron Instrument Company, 2014).

### **Boundary Condition**

*Boundary condition* adalah kondisi pembatas antara model dengan lingkungannya. Untuk dapat menjalankan simulasi, kondisi pembatas ini harus ditentukan. Tidak seperti pada perangkat lunak simulasi pada umumnya yang memasukkan data *weather file*, pada THERM kondisi batasan ditentukan sebelum melakukan simulasi. Pada perangkat lunak THERM

terdapat beberapa *presets boundary condition*, seperti *adiabatic*, yaitu kondisi dimana tidak ada perpindahan panas antara sistem dengan lingkungannya (Argo et al., 2001). Pada pengaturan *boundary condition* terdapat beberapa parameter penting yaitu nilai tahanan panas atau sering disebut juga koefisien perpindahan panas suatu permukaan (*heat resistance/heat transfer coefficient*) dengan satuan  $W/m^2K$ , pada THERM disebut *film coefficient*. Nilai tahanan panas pada dinding luar dan dalam masing-masing ditentukan  $7,69W/m^2K$  dan  $25W/m^2K$  (Purwanto, 2019). Selain itu terdapat juga temperatur lingkungan yang harus dimasukkan agar dapat menjalankan proses simulasi.

### Penghitungan Simulasi

Setelah memasukkan parameter-parameter yang wajib diisi, simulasi dijalankan dengan memilih menu calculate pada perangkat lunak. Untuk menjalankan ketiga jenis simulasi dilakukan dengan mengganti variabel berupa jenis dinding yang telah dibuat model 2D sebelumnya.

### Tampilan Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi, terdapat beberapa pilihan untuk menampilkan hasil simulasi. Beberapa pilihan diantaranya adalah menampilkan *vector flux*, *infrared color grading*, *finite element*, dan sebagainya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemodelan dengan underlay pada file DXF menemui beberapa kendala mengenai ketidakpresisian model. Pemodelan pada THERM memerlukan ketelitian ekstra, karena model yang tidak presisi tidak dapat digunakan untuk tahapan proses simulasi berikutnya.

**Tabel-1.** Tabel konduktivitas termal, emisivitas dan massa jenis material yang digunakan dalam penelitian

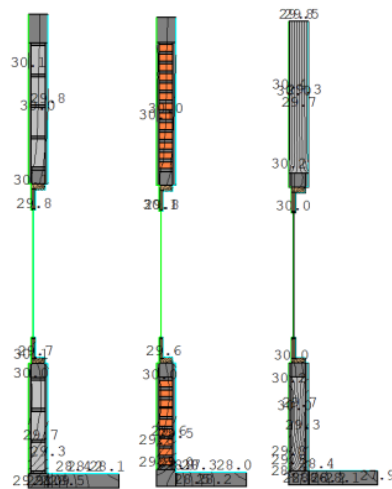
Jenis Material	Konduktivitas Termal (W/mK)	Nilai Emisivitas	Massa Jenis ( $kg/m^3$ )
Batako	0.85	0.91	1600
Bata Merah	0.55	0.75	1200
Bata Ringan (Aerated Concrete)	0.16	0.90	600
Plester	0.90	0.91	1800
Beton	1.26	0.94	2000

Sumber: IES, Mikron (Integrated Environmental Solutions, 2010; Mikron Instrument Company, 2014)

Dari tabel-1, material dengan berat jenis terbesar menuju terkecil adalah dinding batako,

dinding bata merah, dan kemudian dinding bata ringan. Besaran nilai konduktivitas termal material juga memiliki urutan yang sama dengan urutan berat jenis.

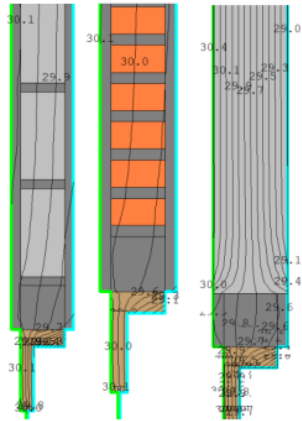
Dengan menjalankan simulasi dan pilihan tampilan hasil menggunakan garis isothermal, didapat hasil seperti pada gambar-1. Penggunaan perangkat lunak THERM mempermudah pemahaman mengenai perpindahan panas pada suatu material, karena dapat memberikan output simulasi dengan visualisasi 2D dengan detail, jelas dan beragam pilihan.



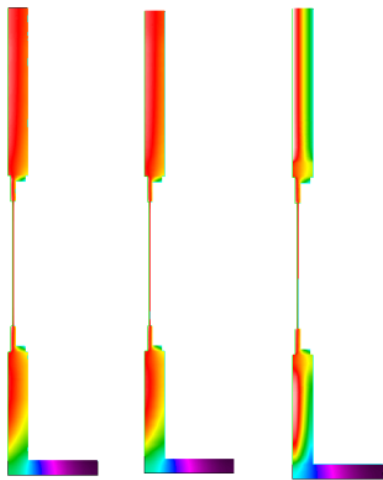
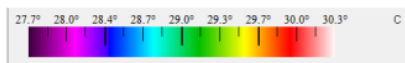
**Gambar-1.** Hasil simulasi THERM dengan tampilan garis isothermal (batako-bata merah-bata ringan) (Analisis peneliti, 2020)

Pada simulasi ditemukan bahwa dinding batako dapat menginsulasi temperatur hingga  $1.2^{\circ}C$ . Sedangkan pada dinding bata merah dapat menghasilkan perbedaan suhu hingga  $1.4^{\circ}C$ . Dan pada bata ringan dapat menginsulasi temperatur hingga  $1.9^{\circ}C$ . kemampuan insulasi antara dinding dengan material batako dan dinding dengan material bata merah menunjukkan hasil yang hampir sama, sedangkan daya insulasi dinding dengan material bata ringan cukup bagus dibandingkan dengan kedua material sebelumnya. Secara visual, hasil tersebut dapat dengan mudah ditunjukkan pada gambar-3 dengan visualisasi inframerah.

Hasil tersebut sesuai dengan urutan nilai konduktivitas termal material maupun nilai berat jenis tiap-tiap material. Material dengan berat jenis lebih kecil akan memiliki daya insulasi yang lebih tinggi, dan material dengan nilai konduktivitas termal lebih besar akan memiliki daya insulasi yang lebih kecil.



**Gambar-2.** Detail hasil simulasi THERM dengan tampilan garis isothermal (batako-bata merah-bata ringan)  
(Analisis peneliti, 2020)



**Gambar-3.** Hasil simulasi THERM dengan tampilan infrared colorgrading (batako-bata merah-bata ringan)  
(Analisis peneliti, 2020)

## KESIMPULAN

Perangkat lunak THERM dapat menjadi alternatif yang baik untuk melakukan penelitian bagi akademisi maupun praktisi, mengingat kemudahan pemakaian, lisensi tidak berbayar dan keakuratan yang diberikan. Selain itu THERM juga menghasilkan output simulasi

dengan visualisasi yang detail dan mudah dipahami.

Dalam pengujian dengan simulasi, didapat bahwa material dengan berat jenis dan nilai konduktivitas termal terendah memiliki daya insulasi panas tertinggi. Dinding dengan material bata ringan menunjukkan efek signifikan dalam menginsulasi panas dibandingkan dengan dinding dengan material batako maupun bata merah.

## REFERENSI

- Argo, B. D., Susilo, B., & Press, U. B. (2001). *Termodinamika*. Universitas Brawijaya Press.  
<https://books.google.co.id/books?id=FGygDwAAQBAJ>
- Cui, Y., Xie, J., Liu, J., & Xue, P. (2019). Experimental and theoretical study on the heat transfer coefficients of building external surfaces in the tropical island region. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/app9061063>
- Integrated Environmental Solutions. (2010). *Apache-Tables User Guide IES Virtual Environment 6.4*. 1–48.  
<http://www.iesve.com/downloads/help/ve2012/Thermal/ApacheTables.pdf>
- Irsyad, M., Pasek, A. D., Indartono, Y. S., & Pratomo, A. W. (2017). Heat transfer characteristics of building walls using phase change material. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 60(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/60/1/012028>
- LBNL, L. B. N. L. (2019). *THERM Knowledge Base*.  
<https://windows.lbl.gov/tools/therm/knowledge-base>
- Mas Santosa, & V. Totok Noerwasito. (2006). Pengaruh "Thermal Properties" Material Bata Merah Dan Batako Sebagai Dinding, Terhadap Efisien Energi Dalam Ruang Di Surabaya. *DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)*, 34(2), 147–153.  
<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/16547>
- Mikron Instrument Company. (2014). *Table of Emissivity of Various Surfaces*. 1–13.  
<http://www.czlazio.com/tecnica/Tabella delle Emissivita.pdf>
- Purwanto, L. (2019). Simulasi transfer panas pada dinding dengan software Therm 7.7. *ARTEKS, Jurnal Teknik Arsitektur*, 111–116.  
<https://doi.org/http://doi.org/10.30822/arteks.v4i1.215>
- Purwanto, L., & Tichelmann, K. (2018). Solar

heat transfer in architectural glass facade  
in Semarang Indonesia. *A/Z ITU Journal  
of the Faculty of Architecture*, 15(2),  
117–152.

9 <https://doi.org/10.5505/itujfa.2018.50465>

Rosenlund, H. (2000). Climatic Design of  
Buildings using Passive Techniques.  
*Building Issues*, 10.

4 <https://lup.lub.lu.se/record/526084>

Satwiko, P. (1999). *TRADITIONAL  
JAVANESE RESIDENTIAL  
ARCHITECTURE DESIGNS AND  
THERMAL: A Study Using a  
Computational Fluid Dynamics Program  
to Explore , Analyse, and Learn from the  
Traditional Designs for Thermal Comfort.*

7 Smith, J. O. (2008). Determination of the  
convective heat transfer coefficients from  
the surfaces of buildings within urban  
street canyons. In *PhD Thesis*.  
15 [https://doi.org/10.1016/j.medmal.2008.10  
.002](https://doi.org/10.1016/j.medmal.2008.10.002)

# Jurnal Arsitektur ARCADE 654

## ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

11%

INTERNET SOURCES

9%

PUBLICATIONS

8%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://journal.unwira.ac.id">journal.unwira.ac.id</a> Internet Source	2%
2	<a href="http://www.mdpi.com">www.mdpi.com</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://publisher.uthm.edu.my">publisher.uthm.edu.my</a> Internet Source	1%
4	Submitted to University of Reading Student Paper	1%
5	Submitted to University of Westminster Student Paper	1%
6	<a href="http://id.123dok.com">id.123dok.com</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://docplayer.net">docplayer.net</a> Internet Source	1%
8	Submitted to Heriot-Watt University Student Paper	1%
9	Mohamad Zaki Yusof, Husna Afifi, Suzana Said. "DETERMINING INDOOR THERMAL	1%



COMFORT CONDITION OF KUTAI HOUSE  
THROUGH BIOCLIMATIC ANALYSIS",  
Malaysian Journal of Sustainable Environment,  
2020

Publication

---

10	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet Source	<1%
11	<a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a> Internet Source	<1%
12	<a href="http://uad.portalgaruda.org">uad.portalgaruda.org</a> Internet Source	<1%
13	<a href="http://opus.bath.ac.uk">opus.bath.ac.uk</a> Internet Source	<1%
14	<a href="http://repository.wima.ac.id">repository.wima.ac.id</a> Internet Source	<1%
15	<a href="http://www.magonlinelibrary.com">www.magonlinelibrary.com</a> Internet Source	<1%
16	<a href="http://sosiopublika.wordpress.com">sosiopublika.wordpress.com</a> Internet Source	<1%
17	Submitted to University of East London Student Paper	<1%
18	<a href="http://hikayathartanah.blogspot.com">hikayathartanah.blogspot.com</a> Internet Source	<1%
19	Leonardus Murialdo Fransiskus Purwanto.	<1%

# "Simulasi transfer panas pada dinding dengan software therm 7.7", ARTEKS : Jurnal Teknik Arsitektur, 2019

Publication

---

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On