

Analisis Jenis Dan Dimensi Pasir Pembentuk Material Mortar Terhadap Konduktivitas Panas Efektif

Nova R. Ismail^{1*}, Purbo Suwandono², Dadang Hermawan³, Hangga Wicaksono⁴

^{1,2,3} Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang,
Jl. Borobudur 35, Universitas Widyagama, Malang, Indonesia 50275

⁴ Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno Hatta No.9, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia 65141

Abstrak

Pelat penyerap panas radiasi matahari merupakan komponen utama pada aplikasi solar still. Pelat penyerap sirip dari material mortar berfungsi sebagai penyerap panas, mentransfer panas dan media evaporasi. Pada pelat penyerap sirip dengan material mortar, air laut mengalir di dalam bodi sirip secara kapiler dan akan mengalami proses penguapan, sehingga meninggalkan garam pada pori. Garam pada pori, jenis dan dimensi pasir sebagai material pembentuk utama mortar juga akan mempengaruhi nilai konduktivitas panas efektif. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pembentukan garam pada pori dengan berbagai jenis dan dimensi pasir pembentuk material mortar terhadap konduktivitas panas efektif. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan membandingkan jenis dan dimensi pasir pembentuk mortar. Jenis pasir yang di gunakan adalah jenis pasir besi (PB) dan pasir lumjung (PL) dengan dimensi pasir masing-masing sebesar 0.125 dan 0.250. Jenis dan dimensi pasir dibentuk menjadi mortar dengan campuran 2 pasir dan 1 semen. Pengujian mortar dibandingkan dengan material batu. Pada pengujian di berikan pemanas pada permukaan atas mortar dan batu menggunakan elemen pemanas (heater) dengan daya 46.4 W selama 120 menit. Penelitian menghasilkan konduktivitas panas efektif pada seluruh material mortar mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu pemanasan dan garam pada pori. Material mortar menggunakan jenis pasir besi dengan dimensi 0.125 mm (PB.0.125) memiliki konduktivitas panas efektif total lebih tinggi sebesar 0.712 (W/m⁰C) dibandingkan dengan material PB.0.250, PL.0.125, PL.0.250 dan batu.

Kata kunci: jenis pasir; dimensi pasir; mortar; konduktivitas panas efektif

Abstract

[Title: Analysis of type and dimension of sand forming mortar material on effective heat conductivity]
The solar radiation heat absorbing plate is a major component in solar still applications. The fin absorber plate with mortar material as a heat absorber, heat transfer, and evaporation medium. In the fin absorber plate with mortar material, seawater flows inside the fin body capillarity and undergoes an evaporation process, leaving salt in the pores. Salt in the pores, type, and dimension of sand as the main forming material of mortar will also affect the effective heat conductivity value. This study evaluates salt formation in the pores with various types and dimensions of sand-forming mortar material on effective heat conductivity. The research was conducted experimentally by comparing the types and dimensions of sand-forming mortar. The types of sand used were iron sand (PB) and lichen sand (PL), with sand dimensions of 0.125 and 0.250, respectively. The types and dimensions of sand were formed into mortar with a mixture of 2 sand and one cement. The mortar test was compared with stone material. In the test, heating was applied to the top surface of the mortar and stone using a heating element (heater) with 46.4 W power for 120 minutes. The research resulted in the effective heat conductivity of all mortar materials increasing with increasing heating time and salt in the pores. The mortar material using iron sand with a dimension of 0.125 mm (PB.0.125) has a higher total effective heat conductivity of 0.712 (W/m⁰C) than PB.0.250, PL.0.125, PL.0.250 and stone.

Keywords: sand type; sand dimension; mortar; effective heat conductivity

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: novarislampung@yahoo.co.id

1. Pendahuluan

Passive solar still adalah teknologi distilasi untuk memproses air laut menjadi air tawar menggunakan energi matahari. Dengan demikian teknologi ini tepat diterapkan di daerah pesisir dan kepulauan di Indonesia untuk kebutuhan rumah tangga (Soeparman, 2015). Beberapa kelebihan *solar still* tipe pasif yaitu: teknologi sederhana, mudah konstruksi, mudah operasional, biaya perawatan rendah, lebih ekonomis, ramah lingkungan dan tidak menggunakan energi tambahan (Tiwari et al., 2009; Sarada et al., 2015; Singh et al., 2016; Rajaseenivasan et al., 2016). Namun, *solar still* tipe pasif memiliki kelemahan, yaitu: transmisi radiasi matahari ke pelat penyerap melalui air laut, air di atas basin merefleksikan radiasi matahari, proses pemanasan awal dan penguapan yang lambat (Ahmed & Ibrahim, 2016; Awasthi, et al., 2018) serta produktivitas rendah (Lalitha, et al., 2019). Kinerja *passive solar still* di pengaruhi oleh kondisi lingkungan, disain alat dan metode operasional (Muftah, et al., 2014).

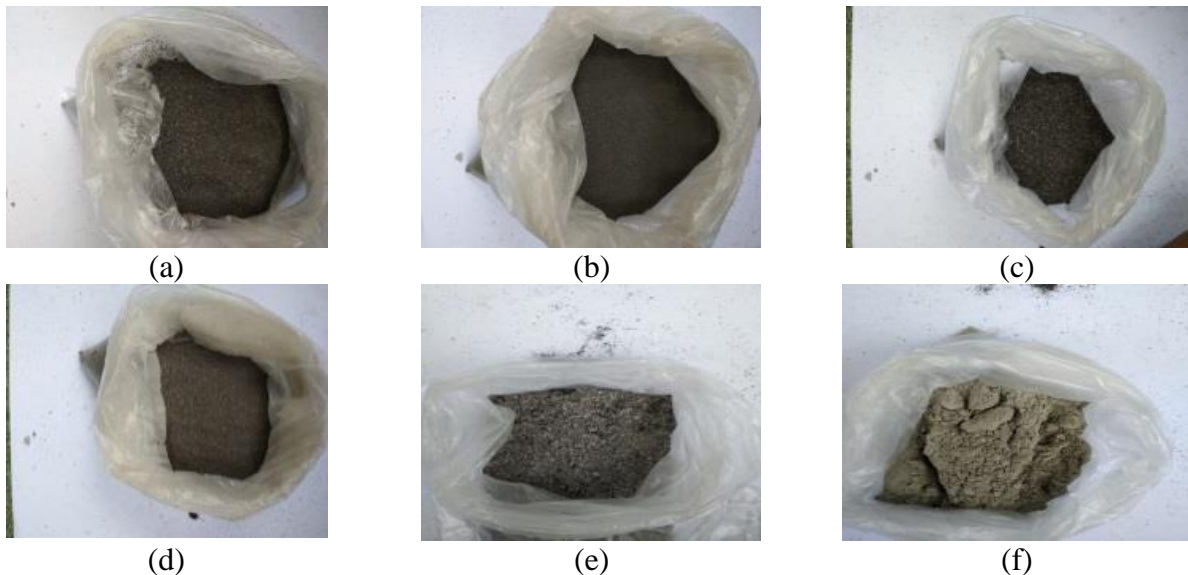
Usaha untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi *solar still* dapat dilakukan dengan membuat pelat penyerap berbentuk sirip yang dapat menerima radiasi matahari secara langsung. Pelat penyerap sirip dapat memperluas permukaan penyerapan radiasi matahari. Untuk memperluas permukaan bidang kontak antara permukaan air laut dengan pelat penyerap sirip di gunakan material berpori. Pelat penyerap sirip menggunakan material *porous media* dapat membuat air mengalir secara kapiler dalam bentuk lapisan tipis melalui pori-pori dan dapat berfungsi sebagai media alir massa, panas dan penguapan (Z. Liu, et al., 2018).

Pelat penyerap sirip berpori dapat berfungsi sebagai media alir panas dan massa secara bersamaan, dapat memperluas permukaan penyerapan panas, memperluas permukaan pemanasan air laut dan penguapan, serta aliran air laut dapat membentuk lapisan tipis diantaranya adalah material non logam. Beberapa material non logam yang dapat berfungsi demikian diantaranya adalah material beton dan mortar (Nicos, et al., 1997; Kim & Lee, 2011; Ding et al., 2020).

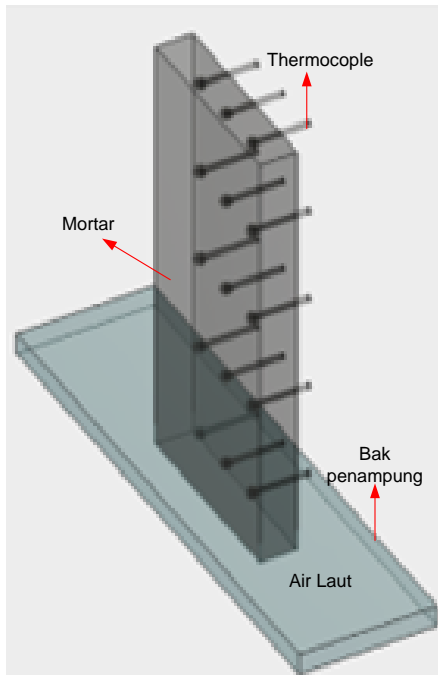
Mortar merupakan material berpori yang dapat digunakan sebagai media perpindahan panas dan massa secara bersamaan (El Ouali et al., 2019; Ismail, et al., 2018; 2019; 2020; 2021). Perpindahan panas dan massa dapat berlangsung di dalam pelat penyerap berbentuk sirip berpori. Proses perpindahan panas dengan adanya aliran massa yang terjadi secara bersamaan disebut dengan perpindahan panas efektif (Straughan, 2008)).

Material pembentuk mortar menggunakan material pasir, semen dan air (Pagut, et al., 2017; Jonathan, et al., 2017). Untuk meningkatkan konduktivitas panas mortar di pilihlah jenis pasir yang mengandung unsur logam dan ukuran butiran pasir yang kecil, selain itu ukuran butiran pasir yang kecil dapat menurunkan nilai porositas (Ganjian, 1990). Konduktivitas panas material yang tinggi dan porositas yang kecil dapat meningkatkan perpindahan panas dan massa (Asadi, et al., 2018). Perpindahan panas dan massa yang tinggi dapat meningkatkan laju penguapan (M. Liu et al., 2018).

Pemanfaatan *solar still* akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama, sehingga salinitas air laut meningkat dan terbentuknya kristal garam pada pori. Peningkatan salinitas dan kristal garam pada pori dapat meningkatkan nilai konduktivitas panas material



Gambar 1. Jenis Pasir , Dimensi Pasir, Batu dan Semen. (a) PB. 0.250, (b) PB. 0.125, (c) PL. 0.250, (d) PL. 0.125, (e) Batu, (f) Semen



Gambar 2. Mortar

(Sharqawy, 2013; Bednarsk, et al., 2017). Nilai konduktivitas panas yang tinggi dapat meningkatkan transfer panas ke air laut, sehingga dapat meningkatkan laju penguapan.

Nilai konduktivitas panas di pengaruhi oleh material pembentuk mortar yaitu jenis dan ukuran butir pasir. Ukuran butir pasir akan mempengaruhi porositas dan jenis pasir akan mempengaruhi konduktivitas panas. Material mortar berpori dengan kandungan unsur besi (Fe) yang lebih besar dan ukuran butiran pasir yang lebih kecil dapat meningkatkan laju penguapan (Ismail, et al., 2019).

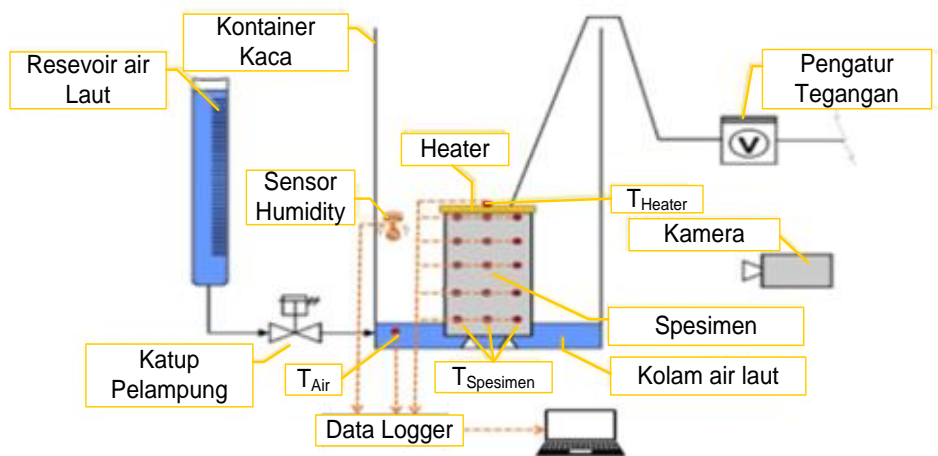
Telah dilakukan penelitian *solar still* menggunakan pelat penyerap sirip dengan material mortar berpori di antaranya oleh Ismail, et al., 2023, namun penelitian belum mengkaji permasalahan air laut yang menguap dan meninggalkan garam pada pori dan permukaan pelat penyerap sirip. Kajian ini menjadi penting untuk dilakukan, karena garam pada pelat penyerap sirip berpori dapat mempengaruhi nilai konduksi panas efektif dari permukaan atas sirip menuju air laut pada basin. Selain terbentuknya garam akibat penguapan air laut pada pori, material pembentuk mortar juga mempengaruhi nilai konduksi panas efektif.

Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jenis dan dimensi pasir pembentuk material mortar terhadap nilai konduktivitas panas efektif. Penelitian ini dapat menjadi referensi pemilihan material pembentuk mortar untuk meningkatkan kinerja *solar still*.

2. Metode Penelitian

Jenis pasir yang di gunakan pada penelitian ini adalah jenis pasir besi dan pasir Lumajang. Dimensi pasir besi dan Lumajang di ayak menggunakan ayakan 0.125 dan 0.250. Jenis pasir ini di bedakan menjadi pasir besi dengan dimensi 0.125 (PB. 0.125) dan pasir besi dengan dimensi 0.250 (PB. 0.250), untuk pasir lumajang juga dibedakan menjadi pasir lumajang dengan dimensi 0.125 (PL. 0.125) dan pasir lumajang dengan dimensi 0.250 (PL. 0.250) yang dapat di lihat pada Gambar 1. Pasir besi, pasir lumajang, batu dan semen di lakukan uji komposisi menggunakan metode XRF.

PB. 0.125, PB. 0.250, PL. 0.125, dan PL. 0.250 masing-masing di campur dengan semen dan air secukupnya di cetak menjadi mortar. Campuran pasir dan besi menggunakan komposisi 2 pasir dan 1 semen. Mortar yang di bentuk dengan dimensi panjang 5 cm, lebar 1 cm dan tinggi 10 cm seperti pada Gambar 2. Mortar yang di



Gambar 3. Set up peralatan penelitian

bentuk tersebut, kemudian di keringkan selama menggunakan oven. Material batu sebagai pembanding juga di bentuk dengan dimensi yang sama dengan mortar dan di lakukan pengeringan.

Pada uji porositas, material mortar dan batu yang sudah di keringkan di ukur massanya (m_{kering}) dan kemudian di rendam di dalam air lalu di ukur massanya (m_{basah}). Kemudian di hitung menggunakan persamaan 1 (Ismail et al., 2018).

$$\varepsilon = \frac{(m_{basah} - m_{kering}) * \frac{1}{\rho_{air}}}{V} \quad (1)$$

Dengan V adalah volume pori (m³) dan ρ_{air} adalah massa jenis air (kg/m³).

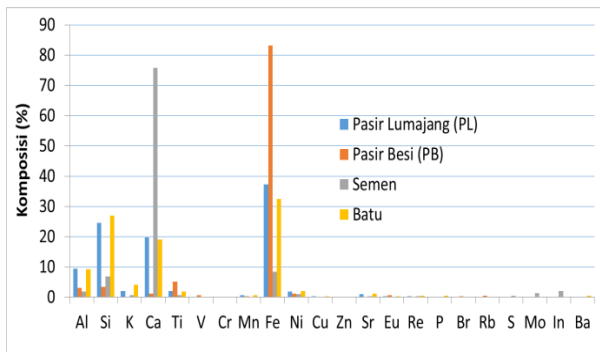
Masing-masing mortar juga melalui pengujian konduktivitas panas di laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Brawijaya Malang. Adapun pengujian foto mikro sebelum dan sesudah pengujian diambil di laboratorium metalurgi fisik Universitas Brawijaya Malang.

Masing-masing mortar dan batu diberikan sensor yang dihubungkan dengan data logger dan komputer seperti pada Gambar 3. Data temperatur dan volume air laut pada reservoir diukur setiap 5 menit selama 120 menit. Pada pengujian ini menggunakan heter sebagai pemanas dengan daya tetap sebesar 46.4 W. Data yang diperoleh untuk mengidentifikasi distribusi temperatur dan volume penguapan.

Dari data volume air teruapkan (V_{uap}) kemudian di hubungkan dengan salinitas air laut sebesar 3.5 %. Persamaan 2 merupakan persamaan volume garam (V_{gp}) dari Ismail, (2021).

$$V_{gp} = V_{uap} * Sal \quad (2)$$

Kamera dipasang untuk mengidentifikasi perkembangan permukaan zona basah dan kering selama percobaan. Data fotografi yang diperoleh, kemudian



Gambar 4. Komposisi kimia material pembentuk mortar dan material batu

diolah menggunakan perangkat lunak pengolah gambar, sehingga di peroleh ketinggian permukaan zona basah dan kering. Dari ketinggian permukaan zona basah dan kering, kemudian di lakukan perhitungan volume pori zona kering menggunakan persamaan 3 dari Ismail (2021).

$$V_p = A_p * L_{kering} * \varepsilon \quad (3)$$

dengan A_p adalah luasan permukaan mortar (mm²), L_{kering} adalah ketinggian zona kering (mm) dan ε adalah porositas.

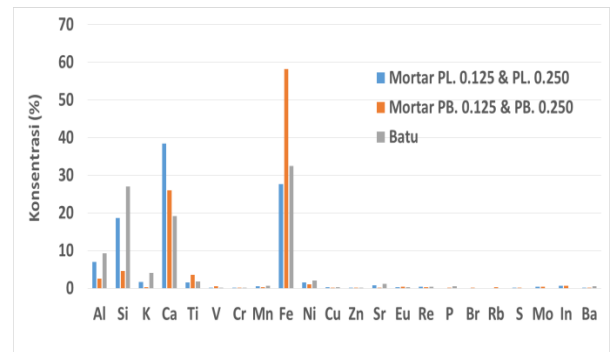
Dari data yang di peroleh dari konduktivitas panas, porositas ketinggian zona kering dan basah, volume garam pada pori dan volume pori, kemudian di lakukan perhitungan konduktivitas panas efektif. Pada pengujian ini diawali dengan mortar terisi penuh air laut (jenuh). Adapun perhitungan konduktivitas panas efektif menggunakan Persamaan 4 (Straughan, et al., 2008; Behzad, et al., 2016).

$$k_{eff.zb} = ((1 - \varepsilon) * k_p) + (\varepsilon * k_l) \quad (4)$$

dimana k_{eff.zb} adalah konduktivitas panas efektif zona basah mortar (W/m °C), ε adalah porositas (%), k_p adalah konduktivitas panas mortar (media berpori) (W/m °C) dan k_l adalah konduktivitas panas liquid/air laut (W/m °C).

Ketika proses penguapan terjadi, maka mulai terbentuk zona kering pada mortar dan endapan garam pada pori-pori, sehingga persamaan konduktivitas panas efektif yang di gunakan pada zona kering menggunakan Persamaan 5.

$$k_{eff.zk} = ((1 - \varepsilon) * k_p) + (\varepsilon * k_g) \quad (5)$$



Gambar 5. Komposisi kimia mortar dan batu

Tabel 1. Nilai konduktivitas panas dan porositas

Material	k (W/m °C)	ε (%)
PL.0.125	0.632	19.0
PL.0.250	0.610	22.4
PB.0.125	0.702	17.8
PB.0.250	0.663	20.0
Batu	0.464	14.6

dimana $k_{eff,zk}$ adalah konduktivitas panas efektif zona kering mortar (W/m.°C) dan k_g adalah konduktivitas panas garam (W/m °C).

Selanjutnya di akumulasi dengan memasukkan data ketinggian permukaan yang merupakan kesebandingan zona. Kemudian persamaan konduktivitas panas efektif total dari (Nield, 2013), kemudian di kembangkan menjadi Persamaan 6.

$$k_{eff,t} = \left[\left(\frac{L_{basah}}{90} \right) * k_{eff,zb} \right] + \left[\left(\frac{L_{kering}}{90} \right) * k_{eff,zk} \right] \quad (6)$$

diimana $k_{eff,t}$ adalah konduktivitas panas efektif total mortar (W/m °C), L_{basah} adalah ketinggian zona basah (mm), L_{kering} adalah ketinggian zona kering (mm) dan nilai 90 merupakan ketinggian mortar dari permukaan air laut (mm).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi material

Pengujian komposisi material pembentuk mortar dan material batu menggunakan uji XRF dapat dibuat Gambar 4. Terlihat bahwa kandungan Fe pada pasir besi sebesar 83%, lebih tinggi di bandingkan dengan material yang lain. Material semen memiliki kandungan Ca lebih tinggi,

sedangkan pasir lumajang dan batu memiliki komposisi yang tinggi pada kandungan Si dan Al. Dengan melihat komposisi material tersebut, maka pasir besi di harapkan dapat membantu meningkatkan konduktivitas panas mortar. Mortar yang terbentuk di harapkan dapat menjadi referensi sebagai pelat penyerap sirip pada aplikasi kinerja *solar still*.

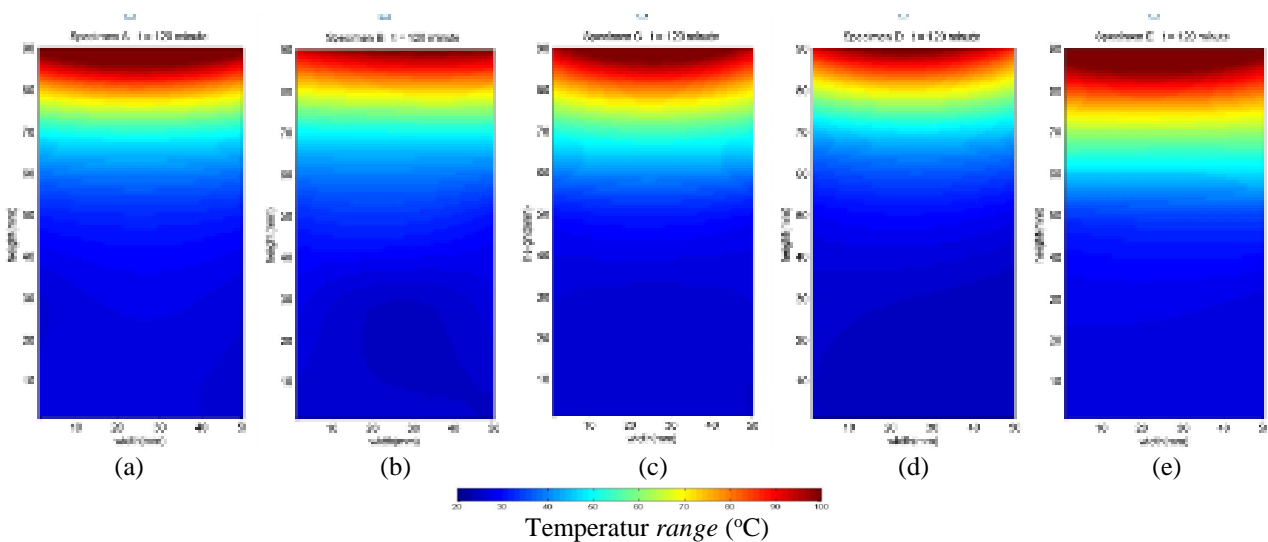
Dengan menggunakan perbandingan campuran sebesar 2 pasir dan 1 semen untuk setiap jenis campuran mortar, maka apabila kondisi pencampuran dianggap homogen, didapatkan komposisi kimia mortar dapat dilihat pada Gambar 5.

Terlihat bahwa kandungan Fe pada mortar PB 0.125 dan PB 0.250 memiliki nilai terbesar dibandingkan kedua jenis material lain. Meskipun pada dasarnya pasir lumajang/sungai memiliki kandungan Fe yang lebih tinggi dari batu, namun setelah dicampur dengan semen nilai kandungan Fe pada mortar dengan pasir lumajang (PL 0.125 dan PL 0.250) lebih kecil dibandingkan batu.

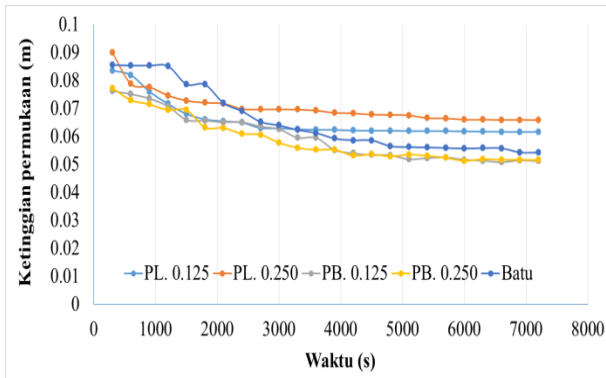
3.2 Konduktivitas panas dan porositas material

Hasil pengujian konduktivitas panas material dan porositas material menggunakan persamaan 1, hasilnya dapat di lihat pada Tabel 1 dimana jenis pasir berpengaruh terhadap nilai konduktivitas panas. Material menggunakan jenis pasir besi memiliki nilai konduktivitas panas lebih besar dibandingkan dengan pasir lumajang dan batu, hal ini disebabkan kandungan unsur Fe yang lebih besar. Dimana pasir besi murni memiliki nilai 40 W/m.K pada temperatur -20 °C dan 45 W/m.K pada 25 °C. Pasir dengan butiran lebih kecil menghasilkan konduktivitas panas lebih besar, karena porositas yang lebih kecil (Midttømme et al., 1998; K. Liu, et al., 2015).

3.3 Data distribusi temperatur (Transien)



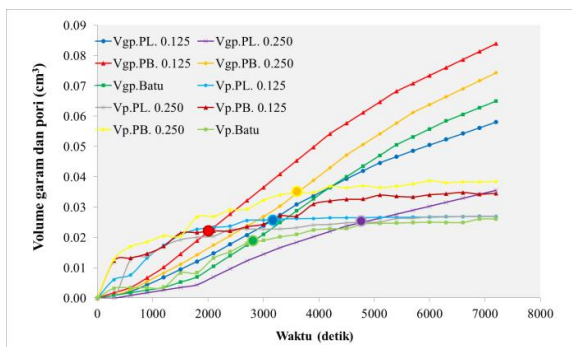
Gambar 6. Distribusi temperatur pada waktu 120 menit, (a) PL. 0.125, (b) PL. 0.250, (c) PB. 0.125 (d) PB. 0.250, (e) Batu.



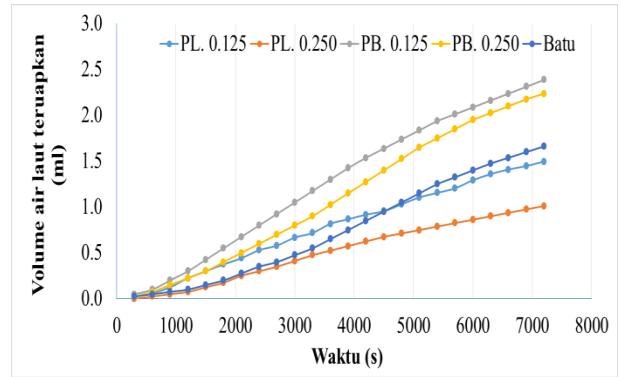
Gambar 7. Ketinggian permukaan terbasahi selama interval 7200 s.

Pada Gambar 6, material dengan ukuran pasir lebih kecil memiliki temperatur lebih luas yang diplot dengan warna merah. Material PL. 0.125 dan PB. 0.125 memiliki distribusi temperatur yang lebih baik daripada material PL. 0.250 dan PB. 0.250. Pasir yang lebih kecil menghasilkan konduktivitas panas yang lebih tinggi, sehingga perpindahan panas terjadi lebih tinggi pada material ini (Schertzer et al., 2009).

Sementara mortar dengan pasir besi (material PB. 0.125 dan PB. 0.250) memiliki temperatur yang lebih luas daripada mortar dengan pasir lumajang (material PL. 0.125 dan PL. 0.250). Jumlah Fe yang lebih besar pada material PB. 0.125 dan PB. 0.250 mempengaruhi konduktivitas panas menjadi lebih tinggi (Middtømme dkk, 1998; K. Liu et al., 2015). Material batu memiliki daerah dengan temperatur tinggi terluas. Meskipun memiliki konduktivitas panas yang rendah, porositas yang kecil menyebabkan jumlah air yang diserap lebih sedikit. Dengan demikian efek pendinginan akibat air yang diserap material batu relatif kecil.



Gambar 9. Volume garam pada *porous media*



Gambar 8. Volume air laut teruapkan selama interval 7200 s

3.4 Ketinggian Permukaan Zona Basah

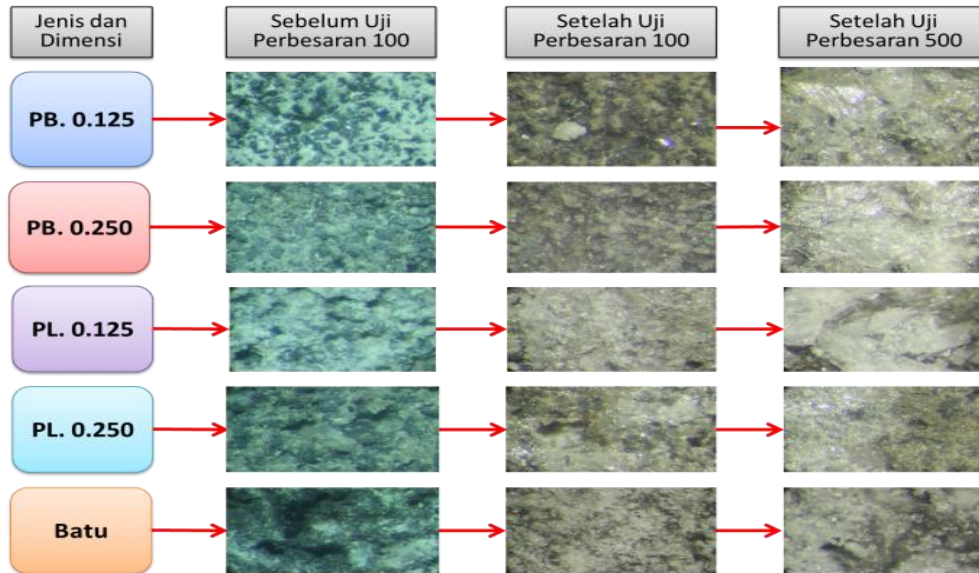
Perkembangan permukaan zona basah selama percobaan diperoleh dengan menggunakan data fotografi yang diukur dengan menggunakan perangkat lunak pengolah Gambar. Seiring dengan perambatan temperatur, ketinggian zona basah mengalami penurunan. Hasil pengolahan citra digambarkan pada Gambar 7.

Penurunan terbesar pada ketinggian zona basah diperoleh pada material PB. 0.125 dengan nilai 0.051 m. Penurunan terbesar kedua pada ketinggian depan terbasahi diperoleh pada material PB. 0.250 dengan nilai 0.515 m. Material batu memiliki ketinggian akhir dengan nilai 0.0542 m. Sedangkan material PL. 0.125 dan PL. 0.250 masing-masing memiliki nilai 0.061m dan 0.069 m.

Penurunan ketinggian zona basah di sebabkan oleh perpindahan panas dan massa pada mortar. Aliran panas dan massa menyebabkan adanya proses penguapan. Penguapan yang kontinyu dapat menyebabkan salinitas air laut meningkat, terbentuknya kristal garam pada pori dan penurunan ketinggian zona basah pada mortar. Ukuran butir pasir yang kecil pada mortar akan memiliki nilai porositas yang kecil dan membuat air dalam bentuk lapisan tipis (Roels et al., 2016). Jenis pasir pada mortar yang mengandung unsur fe lebih besar akan memiliki nilai konduktivitas panas lebih tinggi (K. Liu, et al., 2015; Zhao et al., 2000; Behzad, 2016). Konduktivitas panas yang tinggi dan porositas yang kecil dapat meningkatkan laju penguapan (M. Liu, et al., 2018) dan selanjutnya menurunkan ketinggian zona basah.

3.5 Volume penguapan

Volume air yang diuapkan diperoleh dari penurunan air di reservoir. Gambar 8, menunjukkan jumlah air yang diuapkan selama penelitian. Volume air yang di uapkan terbesar terjadi pada material PB. 0.125 dengan jumlah 2.38 ml, sedangkan jumlah terbesar kedua diperoleh pada

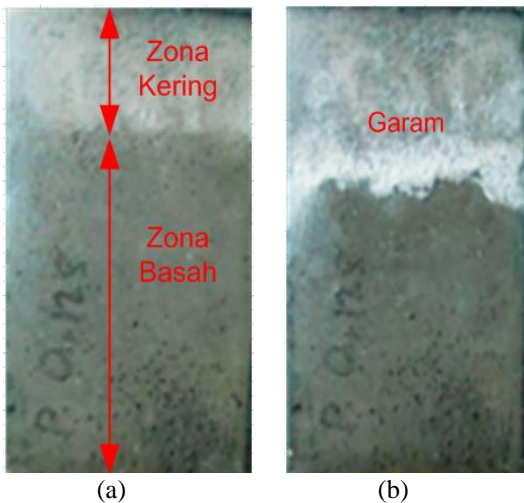


Gambar 10. Foto mikro pori sebelum dan sesudah pengujian.

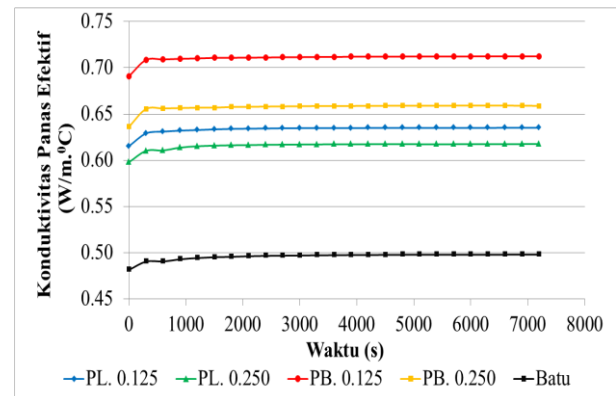
material PB. 0.250 dengan jumlah 2.23 ml. Material batu memiliki nilai 1.66 ml. Sedangkan material PL. 0.125 dan PL. 0.250 masing-masing memiliki nilai 1.49 ml dan 1.01 ml. Mortar dengan pasir besi memiliki volume penguapan lebih besar dibandingkan dengan mortar dengan pasir lumajang.

Jumlah Fe yang tinggi pada pasir besi menghasilkan konduktivitas panas yang lebih besar (PB. 0.125 dan PB. 0.250). Material batu memiliki jumlah Fe lebih tinggi daripada material PL. 0.125 dan PL. 0.250, selain itu material batu memiliki porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan material mortar yang lain. Jumlah Fe yang lebih tinggi dan porositas kecil membuat mortar

menggunakan material batu menghasilkan volume penguapan lebih tinggi dari material dengan pasir lumajang dan lebih rendah dari material menggunakan pasir besi. Selain itu proses pembentukan rongga pada batu terjadi secara alami, sehingga memungkinkan tingkat konektivitas antar saluran kapiler menjadi lebih mudah dilalui oleh fluida. Sedangkan proses pembentukan mortar secara manual menyebabkan kemungkinan konektivitas antar saluran kapilernya semakin kecil. Hal ini menghasilkan jumlah air yang teruapkan pada material batu lebih besar dibandingkan material PL. 0.125 dan PL. 0.250 meskipun dalam jumlah input energi yang sama.



Gambar 11. (a) Pembentukan zona kering, (b) Pertumbuhan kristal garam pada permukaan porous media.



Gambar 12. Konduktivitas panas efektif pada pengujian konduksi transien

Table 2. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya

Jenis Bahan	Komposisi	k (W/m °C)	k _{eff} (W/m°C)	Sumber
Batu	-	0.464	0,495	Penelitian ini
Mortar PL 0.250	1 Semen : 2 Pasir Lumajang	0.610	0,616	Penelitian ini
Mortar PL 0.125	1 Semen : 2 Pasir Lumajang	0.632	0,633	Penelitian ini
Mortar PB 0.250	1 Semen : 2 Pasir Besi	0.663	0,657	Penelitian ini
Mortar PB. 0.125	1 Semen: 2 Pasir Besi	0.702	0,711	Penelitian ini
Mortar	1 Semen : 2 Pasir Halus	-	0.87	(Asadi et al., 2018)
Mortar	14.2% Air, 23.3% Semen, 59.5% Pasir Sungai, 3% Serbuk Gypsum	-	0.7	(Shi, et al., 2014)
Mortar	Semen Portland tipe 1 : Pasir 100%	-	1.03 – 1.14	(Francioso, et al., 2021)
Mortar	Semen Portland tipe 1 : Serbuk Limbah Bangunan 50%, Pasir 50%	-	0.8 – 0.89	(Francioso et al., 2021)
Mortar	Semen Portland tipe 1 : Serbuk Limbah Bangunan 100%	-	0.7 – 0.77	(Francioso et al., 2021)
Mortar	Campuran mortar dengan kokas dengan variasi berat kokas 0-80%	0,15-0,5	-	(Olmeda, et al., 2013)
Mortar	Rasio air dan semen 0,63	0,67	-	(Xiao, et al., 2023)
Mortar	Mortar diproduksi dengan rasio volume pengikat:agregat yang konstan sebesar 1:4	0,1-0,4	-	(Gomes, et al., 2017)
Mortar	Rasio bahan pengikat (pecahan kaca) sebesar 1:3 sedangkan rasio air terhadap pengikat semen Portland sebesar 1:0,45	0,3-0,5	-	(Adewoyin, et al., 2022)
Mortar	Rasio pengikat dan agregat sebesar 1:3	0,1-0,2	-	(Parracha et al., 2023)
Mortar	Semen/agregat halus dengan perbandingan 1:2	0,35-0,4	-	(Jeong, et al., 2023)
Mortar	Rasio gypsum mortar, sedimen dan air sebesar 1:2:1	-	0,4-0,8	(Abdelaziz et al., 2023)
Mortar	Rasio abu bagasse, abu sekam sebagai campuran mortar sebesar 0% - 30%	0,45-0,8	-	(Srikanth, et al., 2022)
Mortar	Rasio zaitun agregat limbah padat (OSW) sebagai pengganti pasir alami sebesar 0-15%	0,6-1	-	(El, et al., 2023)
Mortar	Rasio semen dengan pasir 1:6, dimana semen diganti dengan fly ash dan bottom ash dengan variasi tertentu	0,3-1	-	(Ghosh, et al., 2018)

3.6 Volume garam pada pori-pori material mortar

Dari hasil penelitian di peroleh volume air teruapkan (V_{uap}) yang di hubungkan dengan salinitas air laut (3.5 %), sehingga dapat menghitung volume garam (V_{gp}) menggunakan persamaan 2. Dari hasil foto kemudian di peroleh ketinggian zona kering dan basah. Pada persamaan 3 di peroleh volume pori zona kering.

Volume garam pada mortar di pengaruhi oleh volume air teruapkan dan salinitas air laut. Volume garam pada mortar dan volume pori pada zona kering pada pemanasan transien selama 7200 detik dapat di lihat pada Gambar 9. Pada gambar tersebut terlihat pertemuan terpenuhinya volume pori pada zona kering (V_p) dan volume garam (V_{gp}) yang terbentuk akibat proses penguapan air laut. Pertemuan V_p dan V_{gp} terjadi pada waktu yang berbeda-beda pada setiap jenis material

mortar dan batu. Waktu terbentuknya garam pada pori-pori tercepat adalah mortar PB.0.125, hal ini disebabkan oleh volume air teruapkan tinggi, porositas kecil, dan konduktivitas panas tinggi.

Volume air teruapkan akan mempengaruhi pembentukan garam, porositas akan mempengaruhi jumlah garam yang mampu di tampung pada pori zona kering dan konduktivitas panas akan mempengaruhi panas yang mampu di transfer. Pembentukan garam pada pori dapat di lihat pada Gambar 10. Setelah garam memenuhi pori-pori pada zona kering, maka garam akan terbentuk pada permukaan mortar di sekitar zona kering seperti pada Gambar 11. Terbentuknya kristal garam pada permukaan mortar di sekitar zona kering terjadi karena adanya proses penguapan yang kontinyu (Dashtian et al., 2018).

3.7 Konduktivitas Panas Efektif

Berdasarkan data yang di peroleh, kemudian dilakukan perhitungan konduktivitas panas efektif pada pemanasan secara konduksi transien. Pada pengujian ini diawali dengan mortar terisi penuh oleh air laut (jenuh), perhitungannya menggunakan persamaan 4. Ketika proses penguapan terjadi dan pada saat itu mulai terbentuk zona kering pada mortar dan endapan garam pada pori-pori, sehingga persamaan konduktivitas panas efektif menggunakan persamaan 5. Selanjutnya di akumulasi dengan memasukkan data ketinggian permukaan yang merupakan kesebandingan zona. Kemudian persamaan konduktivitas panas efektif total menggunakan persamaan 6. Dari proses perhitungan menggunakan Persamaan 4, 5 dan 6, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 12. Dari gambar tersebut terlihat konduktivitas panas efektif total pada mortar dengan pori-pori terisi air laut terlihat lebih rendah di bandingkan dengan konduktivitas panas efektif total pada saat mulai terbentuknya garam pada pori-pori akibat proses penguapan. Konduktivitas panas efektif total cenderung meningkat, seiring dengan peningkatan pori yang terisi garam/zona kering. Zona kering yang berisi garam dapat meningkatkan nilai konduktivitas panas efektif total, karena nilai konduktivitas panas garam lebih tinggi dari air laut (Sharqawy, 2013; K. Liu et. al., 2018; Behzad, 2016).

Nilai konduktivitas panas efektif total juga cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan. Peningkatan nilai konduktivitas panas efektif total sesuai dengan pembentukan zona kering dan zona basah. Nilai konduktivitas panas efektif total menggunakan material PB. 0.125 memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan material mortar yang lain dan batu. Selain adanya garam pada pori-pori akibat proses penguapan, PB. 0.125 juga memiliki nilai konduktivitas panas mortar (k_p) yang lebih tinggi dan porositas rendah.

Pada Tabel 2, Perbandingan nilai konduktivitas panas dengan penelitian sebelumnya, material dengan jenis dan di mensi pasir dengan berbagai dimensi pembentuk mortar memiliki nilai yang lebih tinggi. Selain itu juga terlihat konduktivitas panas efektif lebih tinggi di bandingkan konduktivitas panas. Dari penelitian sebelumnya, nilai konduktivitas panas efektif terlihat relatif sebanding dengan penelitian sebelumnya.

4. Kesimpulan

Penelitian menghasilkan konduktivitas panas efektif pada seluruh material mortar mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu pemanasan dan garam pada pori. Material mortar menggunakan jenis pasir besi dengan dimensi 0.125 mm (PB.0.125) memiliki konduktivitas panas efektif total lebih tinggi sebesar 0.711 (W/m^0C) di bandingkan dengan material PB.0.250 sebesar 0.657 (W/m^0C), PL.0.125 sebesar 0.633

(W/m^0C), PL.0.250 sebesar 0.616 (W/m^0C) dan Batu sebesar 0.495 (W/m^0C). Dari hasil penelitian, ini di sarankan untuk menggunakan pasir besi dengan dimensi pasir 0.125 mm sebagai material pembentuk mortar pada pelat penyerap sirip *solar still*.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan sebesar-besarnya kepada Universitas Widyagama Malang melalui LPPM yang telah mendanai kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abdelaziz, M. A., Hajri, A. K., Heleili, S., Gabssi, N., Hamdi, E., Khalil, S. A., ... Albalawi, N. (2023). Effective thermal conductivity of a gypsum mortar using harbor sediments. *Alexandria Engineering Journal*, 73, 505–517. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.04.036>
- Adewoyin, O., Adesina, A., & Das, S. (2022). Physico-thermal and microstructural properties of thermal-efficient mortars made with low cement content. *Construction and Building Materials*, 325(January), 126850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126850>
- Ahmed, H. M., & Ibrahim, G. A. (2016). Performance Evaluation of a Conventional Solar Still with Different Types and layouts of Wick Materials. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 6(9), 5–14.
- Asadi, I., Shafiqh, P., Abu Hassan, Z. F. Bin, & Mahyuddin, N. B. (2018). Thermal conductivity of concrete – A review. *Journal of Building Engineering*, 20, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002>
- Awasthi, A., Kumari, K., Panchal, H., & Sathyamurthy, R. (2018). Passive solar still: recent advancements in design and related performance. *Environmental Technology Reviews*, 7(1), 235–261. <https://doi.org/10.1080/21622515.2018.1499364>
- Bednarska, D., & Koniarczyk, M. (2017). The influence of water and salt content on the thermal conductivity coefficient of red clay brick. *AIP Conference Proceedings*, 1866. <https://doi.org/10.1063/1.4994485>
- Behzad Ghanbarian, H. D. (2016). Thermal conductivity in porous media: Percolation-based effective-medium approximation. *Journal of the American Water Resources Association*, (52), 295–314. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x>
- Dashtian, H., Shokri, N., & Sahimi, M. (2018). Pore-network model of evaporation-induced salt precipitation in porous media: The effect of correlations and heterogeneity. *Advances in Water*

- Resources*, 112, 59–71.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.12.004>
- Ding, X., Liang, X., Zhang, Y., Fang, Y., Zhou, J., & Kang, T. (2020). Capillary water absorption and micro pore connectivity of concrete with fractal analysis. *Crystals*, 10(10), 1–13.
<https://doi.org/10.3390/cryst10100892>
- El, M., Merroun, O., Maalouf, C., & Bogard, F. (2023). Materials Today: Proceedings Enhancing mechanical and thermal properties of sustainable cement mortar through incorporation of olive solid waste aggregates. *Materials Today: Proceedings*, (September).
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.007>
- El Ouali, A., El Rhafiki, T., Kousksou, T., Allouhi, A., Mahdaoui, M., Jamil, A., & Zeraouli, Y. (2019). Heat transfer within mortar containing micro-encapsulated PCM: Numerical approach. *Construction and Building Materials*, 210, 422–433.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.177>
- Francioso, V., Moro, C., & Velay-Lizancos, M. (2021). Effect of recycled concrete aggregate (RCA) on mortar's thermal conductivity susceptibility to variations of moisture content and ambient temperature. *Journal of Building Engineering*, 43(August), 103208.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103208>
- Ganjian, E. (1990). The Relationship between Porosity and Thermal Conductivity of Concrete. *University of Leeds*, 1–286.
- Gao, F., He, B., Zou, G., Wang, Y., Wang, Y., Zhao, X., & Shen, Y. (2023). Modified porous membrane with high solar-to-thermal conversion and oil resistance performance for solar steam generation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 252(August 2022), 112185.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112185>
- Ghosh, A., Ghosh, A., & Neogi, S. (2018). Reuse of fly ash and bottom ash in mortars with improved thermal conductivity performance for buildings. *Heliyon*, 4(11), e00934.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00934>
- Gomes, M. G., Flores-Colen, I., Manga, L. M., Soares, A., & de Brito, J. (2017). The influence of moisture content on the thermal conductivity of external thermal mortars. *Construction and Building Materials*, 135, 279–286.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.166>
- Ismail, N. R., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2018). The Influence of Pores Size and Type of Aggregate on Liquid Mass Transfer in Porous Media. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(17), 7171–7178.
<https://doi.org/10.3923/jeasci.2018.7171.7178>
- Ismail, N. R., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2019). The influence of pores size and type of aggregate on capillary heat and mass transfer in porous. *Journal of Applied Engineering Science*, 17(1), 8–17. <https://doi.org/10.5937/jaes17-18090>
- Ismail, N. R., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2020). Temperature Distribution and Evaporation Rate in Porous Media. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55(3), 1–12.
<https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.3.28>
- Ismail, N. R., Soeparman, S., Widhiyanuriyawan, D., & Wijayanti, W. (2021). The effect of water salinity and radiation intensity to the temperature distribution and evaporation rate inside porous media. *Tehnicki Vjesnik*, 28(2), 379–384.
<https://doi.org/10.17559/TV-20191023092006>
- Ismail, N. R., Suwandono, P., Hermawan, D., & Angraeni, F. D. (2023). Pemanfaatan dinding sebagai permukaan kondensasi untuk meningkatkan kinerja solar still double slope. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12(1), 1–9.
- Jeong, S. G., Lee, J., Chang, S. J., & Kim, S. (2023). Thermal and structural behavior of thermal inertia-reinforced mortars for building envelope applications. *Construction and Building Materials*, 384(October 2022), 131452.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131452>
- Jonathan, S., & Charles, K. K. (2017). Study of brick mortar using sawdust as partial replacement for sand. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 8(6), 59–66.
<https://doi.org/10.5897/jcect2017.0450>
- Kim, B.-H., & Lee, H.-S. (2011). A Study on Thermal Performance of Cement Mortar with PCM. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 23(4), 521–528.
<https://doi.org/10.4334/jkci.2011.23.4.521>
- Lalitha Narayana, R., & Ramachandra Raju, V. (2019). Effect of flat plate collectors in parallel on the performance of the active solar still for Indian coastal climatic conditions. *International Journal of Ambient Energy*, 40(2), 203–211.
<https://doi.org/10.1080/01430750.2017.1381156>
- Liu, K., Li, Y., Lu, L., Wang, F., & Ding, H. (2018). A modified model considering the influence of porosity on thermal conductivity of iron sand cement mortar based on cubic three-phase model. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 51(6).
<https://doi.org/10.1617/s11527-018-1294-9>
- Liu, K., Wang, Z., Jin, C., Wang, F., & Lu, X. (2015). An experimental study on thermal conductivity of iron ore sand cement mortar. *Construction and Building Materials*, 101, 932–941.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.108>
- Liu, M., Wu, J., Gan, Y., Hanaor, D. A. H., & Chen, C. Q. (2018). Tuning capillary penetration in porous

- media: Combining geometrical and evaporation effects. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 123, 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.02.101>
- Liu, Z., Jiang, Q., Ning, F., Kim, H., Cong, W., Xu, C., & Zhang, H. C. (2018). Investigation of energy requirements and environmental performance for additive manufacturing processes. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103606>
- Midttømme, K., & Roaldset, E. (1998). The effect of grain size on thermal conductivity of quartz sands and silts. *Petroleum Geoscience*, 4(2), 165–172. <https://doi.org/10.1144/petgeo.4.2.165>
- Muftah, A. F., Alghoul, M. A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M. M., & Sopian, K. (2014). Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 430–447. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.052>
- Nicos S. Martys and Chiara E Ferraris. (1997). Capillary Transport In Mortars And Concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(5), 747–760. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(97\)00052-5](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(97)00052-5)
- Nield, D. A. & B. A. (2013). *Convection in porous media*.
- Nova Risdiyanto Ismail. (2021). *Pelat Penyerap Model Sirip Menggunakan Materialporous Media Untuk Meningkatkan Kinerja Solar Still* (Universitas Brawijaya Malang). Retrieved from https://mesin.ub.ac.id/mesin_s3/?page_id=553
- Olmeda, J., Sánchez De Rojas, M. I., Frias, M., Donatello, S., & Cheeseman, C. R. (2013). Effect of petroleum (pet) coke addition on the density and thermal conductivity of cement pastes and mortars. *Fuel*, 107(2013), 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.01.074>
- Pagut, A. H., Karels, D. W., & Hunggurami, E. (2017). *Karakteristik Teknis Beton Dan Mortar Menggunakan Pasir Bondo dan Bondo Merah*. VI(1), 1–10.
- Parracha, J. L., Santos, A. R., Lazera, R., Flores-Colen, I., Gomes, M. G., & Rodrigues, A. M. (2023). Performance of lightweight thermal insulating mortars applied on brick substrate specimens and prototype wall. *Construction and Building Materials*, 364(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129954>
- Rajaseenivasan, T., Tinnokesh, A. P., Kumar, G. R., & Srithar, K. (2016). Glass basin solar still with integrated preheated water supply – Theoretical and experimental investigation. *Desalination*, 398, 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.041>
- Roels, S. M., El Chatib, N., Nicolaidis, C., & Zitha, P. L. J. (2016). Capillary-Driven Transport of Dissolved Salt to the Drying Zone During CO₂ Injection in Homogeneous and Layered Porous Media. *Transport in Porous Media*, 111(2), 411–424. <https://doi.org/10.1007/s11242-015-0601-y>
- Sarada, N., Lalitha, S., Sagi, S., & Ashish, T. (2015). Modelling and Analysis of Single Slope Solar Still at Different Water Depth. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 1477–1482. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.191>
- Schertzer, M. J., Ewing, D., Ching, C. Y., & Chang, J. S. (2009). The effect of pore size on the heat transfer between a heated finned surface and a saturated porous plate. *Journal of Heat Transfer*, 131(1), 1–7. <https://doi.org/10.1115/1.2977595>
- Sharqawy, M. H. (2013). New correlations for seawater and pure water thermal conductivity at different temperatures and salinities. *Desalination*, 313, 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.12.010>
- Shi, J., Chen, Z., Shao, S., & Zheng, J. (2014). Experimental and numerical study on effective thermal conductivity of novel form-stable basalt fiber composite concrete with PCMs for thermal storage. *Applied Thermal Engineering*, 66(1–2), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.012>
- Singh, D. B., Yadav, J. K., Dwivedi, V. K., Kumar, S., Tiwari, G. N., & Al-Helal, I. M. (2016). Experimental studies of active solar still integrated with two hybrid PVT collectors. *Solar Energy*, 130, 207–223. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.024>
- Srikanth, G., Fernando, A., Selvaranjan, K., Gamage, J. C. P. H., & Ekanayake, L. (2022). Development of a plastering mortar using waste bagasse and rice husk ashes with sound mechanical and thermal properties. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00956. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00956>
- Straughan, B. (2008). Convection in porous media. In *Applied Mathematical Sciences (Switzerland)* (Vol. 165). https://doi.org/10.1007/978-0-387-76543-3_4
- Tiwari, G. N., Dimri, V., & Chel, A. (2009). Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis. *Desalination*, 242(1–3), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.027>
- Xiao, Y., Shao, Z., & Wei, W. (2023). Investigation of thermally-induced separation in mortar-aggregate under microwave irradiation. *Composite Structures*, 316(March), 117035. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117035>
- Zhao, T. S., & Liao, Q. (2000). *On capillary-driven flow and phase-change heat transfer in a porous structure heated by a nmed surface: measurements and modeling*. 43.