

## Analysis of Heat and Mass Transfer on Fungi Growth Inside of Building Walls and Increasing of Energy Consumption, Case Study: Jakarta and Medan Weather Data

Nasruddin<sup>1\*</sup>, M. Rifqi Audi<sup>2</sup>, Hafidho Ilham<sup>3</sup>, Juno Dwi Putra<sup>4</sup>, Yovan Okta Ananda<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5)</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424

\*Corresponding author: nasruddin@eng.ui.ac.id

**Abstract.** By using temperature and relative humidity data in two major cities in Indonesia, namely Medan and Jakarta, moisture level analysis on buildings that affect the growth of fungi and also total electricity energy consumption for one year is carried out. The simulation run by the BMOIST software and the results are analyzed for predetermined wall layer conditions. The results show that Medan has a fungi growth rate faster than Jakarta. The cooling energy consumption for one year in Medan is 6873.67 kWh and in Jakarta is 4464.28 kWh.

**Abstrak.** Dengan menggunakan data temperatur dan kelembaban di dua kota besar di Indonesia yaitu Medan dan Jakarta, dilakukan analisa tingkat kelembaban pada bangunan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur sekaligus dengan total energy listrik yang terpakai selama setahun. Dengan bantuan aplikasi Bmoist™ simulasi dan analisa kondisi lapisan dinding yang telah ditentukan. Didapatkan hasil bahwa Medan memiliki tingkat pertumbuhan jamur yang lebih cepat dibanding Jakarta. Energi pendinginan yang digunakan dalam setahun untuk Medan lebih besar yaitu 6873,67 kWh, sedangkan Jakarta sebesar 4464,28 kWh.

**Keywords:** Pertumbuhan Jamur, Kelembapan, aplikasi Bmoist™

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Kelembaban yang tinggi di dalam ruangan tidak hanya akan menyebabkan naiknya konsumsi energi dalam bangunan tetapi juga akan mempengaruhi kualitas udara yang ada di dalam ruangan disebabkan akan munculnya jamur dan juga menurunkan kualitas material yang ada di dinding dan kerusakan pada struktur bangunan. Memiliki iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi membuat Indonesia juga memiliki kelembaban udara yang tinggi, mengakibatkan tumbuh suburnya jamur dinegara ini. Minimnya penelitian tentang dampak pertumbuhan jamur yang disebabkan oleh kelembaban udara pada bangunan di beberapa kota di Indonesia, membuat penelitian ini penting untuk dilakukan. Dengan bantuan software Bmoist™ simulasi kondisi pertumbuhan jamur dan konsumsi energi dilakukan di Medan dan Jakarta.

### Dasar Teori

Proses perpindahan kalor disebabkan oleh adanya perbedaan temperature, sementara perpindahan massa salah satunya dapat disebabkan karena perbedaan kelembapan. Pada dinding yang diasumsikan, dapat terjadi perpindahan massa dan temperature baik ke arah dalam dinding maupun ke luar dinding. Perpindahan panas pada dinding dapat dinyatakan dengan persamaan konduksi, yang ditentukan dari temperature, tebal dinding dan luas area.

$$Q_{cond} = kA \frac{T_{out} - T_{in}}{L} (W)$$

Persamaan konduksi dapat diubah menjadi persamaan tahanan termal agar bisa didapatkan persamaan konduksi total dari beberapa material.

$$Thermal\ resistance\ (R) = \frac{L}{kA} (K/W)$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \Sigma R_i (\text{Seri})$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{total}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \\ &= \Sigma \frac{1}{R_i} (\text{Paralel})\end{aligned}$$

Sehingga persamaan konduksi panas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R} (W)$$

Laju massa uap air yang berpindah melewati tebal dinding ( $L$ ) dan luas area ( $A$ ) dipengaruhi oleh tingkat kelembapan ( $\phi$ ), tekanan saturasi ( $P_{sat}$ ) dan permeability ( $P$ ) dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\dot{m}_v &= PA \frac{\phi_1 P_{sat\ out} - \phi_2 P_{sat\ in}}{L} \left(\frac{kg}{s}\right) \\ P_v &= \phi P_{sat}\end{aligned}$$

Permeability dari material dapat diubah sebagai tahanan uap air (vapor resistance) yang berusaha berpindah melewati dinding yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Vapor resistance (Z)} &= \frac{L}{P} (s.m^2.Pa/kg) \\ Z_{total} &= Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = \Sigma Z_i (\text{Seri}) \\ \frac{1}{Z_{total}} &= \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n} \\ &= \Sigma \frac{1}{Z_i} (\text{Paralel}) \\ \dot{m}_v &= A \frac{\Delta P_v}{Z_{total}} \left(\frac{kg}{s}\right)\end{aligned}$$

### Pertumbuhan Jamur

Jamur berkembang biak dengan cara menyebarluaskan sporanya ke udara, spora tersebut dapat berpindah ke mana saja dengan bantuan udara yang bergerak. Ada 4 hal yang sangat mempengaruhi pertumbuhan jamur pada dinding, dan ke 4 hal tersebut saling mempengaruhi, sehingga dapat ditemukan hubungannya sebagai berikut [1] :

$$\begin{aligned}\text{Mold spores} + \text{Temperature} + \text{Food source} + \\ \text{Moisture} &= \text{Mold growth}\end{aligned}$$

Spora jamur dapat berpindah ke mana saja, spora-spora tersebut dapat menempel di dinding

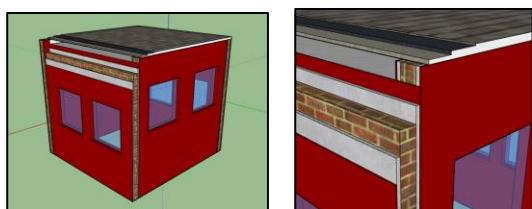
dengan bantuan system pendingin ruangan yang ada, baju orang dalam ruangan, dan saat membuka jendela. Pada dasarnya persebaran spora jamur tidak dapat secara 100% dihentikan. Jamur membutuhkan suhu lingkungan antara 4,5- 38°C untuk tumbuh, dan ini sangat sesuai dengan batasan temperatur bangunan yang dihuni manusia yang menyediakan lingkungan yang sangat nyaman untuk pertumbuhan jamur. Sayangnya, menggunakan temperatur untuk mengontrol pertumbuhan jamur di bangunan tidak praktis karena temperatur nyaman manusia masuk di dalam batasan temperatur yang dikategorikan baik untuk tumbuhnya jamur. Jamur menggunakan bahan organik sebagai sumber makanan. Sayangnya, hal ini terdapat pada hampir semua bahan bangunan. Jika terdapat spora jamur di dalam ruangan, maka jamur akan dapat menemukan pasokan nutrisi yang banyak. Jamur membutuhkan kelembaban untuk bertahan hidup. Kelembaban dapat berasal dari bahan bangunan yang rusak karena air dari kebocoran, atau tingkat kelembaban dalam ruangan yang sangat tinggi. Sumber kelembaban dan tingkat kelembaban dalam sebuah bangunan dapat sangat bervariasi tergantung pada temperatur, cuaca, ventilasi, dan lokasi serta penggunaan luas area. Secara teori kelembaban dalam ruangan adalah sesuatu yang dapat dikendalikan.

### Metodologi

Untuk menganalisa pengaruh dari cuaca terhadap pertumbuhan jamur dan konsumsi energi dalam bangunan, maka dibutuhkan data cuaca udara luar selama satu tahun terutama data temperatur dan kelembaban relative (RH) cuaca dengan menggunakan software Meteonorm 7 [2] di dua lokasi bandara di Indonesia, yaitu Medan (Polonia) dan Jakarta (Halim Perdana Kusuma). Data tersebut selanjutnya menjadi input untuk simulasi menggunakan software Building Moisture and Heat Transfer Analysis (BMOIST 1.0) [3]. Dari software tersebut kemudian dilakukan simulasi pertumbuhan jamur pada dinding rumah. Dengan kriteria yang digunakan yaitu Mold Growth Moisture Evaluation Criteria. Simulasi dilakukan selama setahun (365 hari) untuk

mendapatkan nilai waktu (jam) yang sangat besar pengaruhnya terhadap pertumbuhan jamur.

Adapun untuk mensimulasikan efek temperatur dan RH terhadap pertumbuhan jamur dan konsumsi energy dalam bangunan, maka dibuat model bangunan dengan luas 3m x 3m dan tinggi 3m yang dapat diasumsikan sebagai tipikal bangunan di Indonesia dan menghadap ke utara. Susunan tembok yang digunakan menyesuaikan dengan tipikal rumah di Indonesia, yaitu mortar sebagai pelapis pada eksterior dan interior tembok. Sedangkan penyusun tembok utama yaitu batu bata. Dengan spesifikasi penyusun tembok mengikuti nilai pada ASHRAE Handbook.

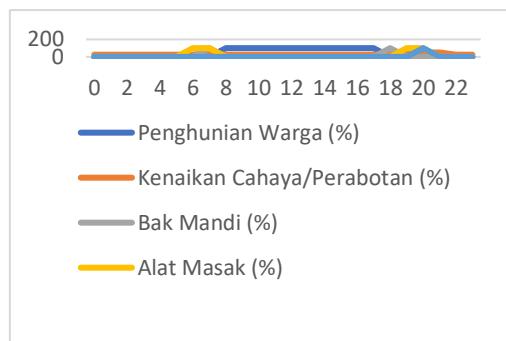


Gambar 1. Simulasi bangunan

Tabel 1 Data Material yang Digunakan Dalam Bangunan

Layer	Material	Thickness (cm)	Permeance ng/(s.m <sup>2</sup> .Pa)	Thermal Resistance TPa.m <sup>2</sup> .s/kg
1	Surface Paint	0,1		-
2	Mortar	2,54	860	0,0012
3	Brick	10,16	46	0,022
4	Mortar	2,54	860	0,0012
5	Surface Paint	0,1		-

Simulasi dilakukan dengan menggunakan skenario kondisi dalam bangunan yang mempengaruhi temperature dan kelembaban di dalamnya, antara lain aktifitas yang dilakukan manusia, penggunaan lampu dan peralatan lainnya sebagaimana terdapat pada Gambar 2. Selain itu juga ditetapkan parameter dalam ruangan yang bernilai konstan yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 2. Skenario Sumber Kelembapan Dalam Sehari

Tabel 2. Data Setting Dalam Ruangan

Peralatan	Data
Normal Cooling Setpoint	25° C
Supply Fan Air Flow	9,91 m <sup>3</sup> /menit
AC Rated EER	10
AC Rated SHR	0,75

## Hasil dan Diskusi

Beberapa input yang diberikan untuk simulasi didapatkan hasil rata-rata temperature dan RH yang ada di dua kota tersebut yaitu Medan dan Jakarta, energi yang digunakan dalam setahun sebagaimana terdapat pada Tabel 3 dan jumlah jam kondusif untuk pertumbuhan jamur di setiap sisi dinding pada Tabel 4. Karena disimulasikan bangunan berbentuk kotak maka dinding ada di empat sisi mata angin yaitu utara, timur, barat, dan selatan.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Simulasi

Parameter	Jakarta	Medan
Suhu Lingkungan Rata-Rata (°C)	78,249	80,784
Kelembapan Relatif Lingkungan Rata-Rata (%)	81,1	82,2
Peralatan Untuk Pendingin (kWh)	4464,28	6873,67

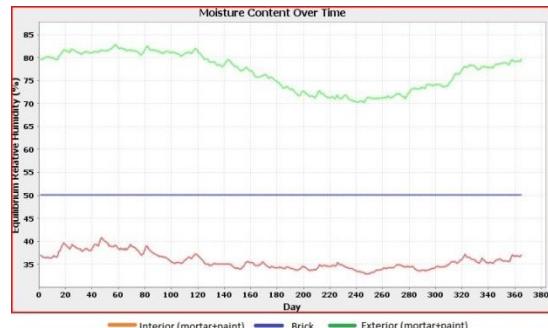
Tabel 4. Angka Jam Kondusif untuk Pertumbuhan Jamur

Kota	Sisi Utara (jam)	Sisi Timur (jam)	Sisi Selatan (jam)	Sisi Barat (jam)
Jakarta - Dinding	2667	19	597	581
- Atap	289	100	16	431
Medan - Dinding	4269	3423	2502	23
- Atap	66	123	21	19

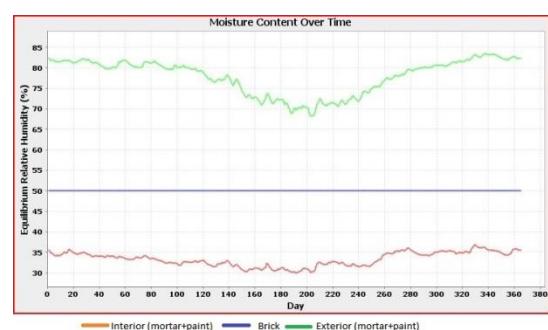
Dari Tabel 3 didapatkan temperatur udara luar rata-rata di Jakarta dan Medan tidak memiliki perbedaan yang signifikan, yaitu hanya sekitar 2,5°C, namun penggunaan energi untuk pendinginan di Medan jauh lebih besar dibanding di Jakarta. Perbedaannya 2409,39 kWh, atau sekitar 53% energi pendinginan di Jakarta. Hal ini dapat disebabkan karena tingkat kelembaban di Medan lebih tinggi dari Jakarta. Kota Medan cenderung lebih dekat ke equator (katulistiwa) sehingga memiliki tingkat kelembaban yang lebih tinggi. Dengan begitu pertumbuhan jamur di Kota Medan juga menjadi lebih cepat.

Pertumbuhan jamur sangat dipengaruhi oleh kelembaban dinding. Dari simulasi yang telah dilakukan didapat hasil berupa grafik *Moisture Content* pada dinding di kedua kota. Data yang didapat dari kedua kota memiliki kecenderungan yang berbeda, yaitu %RH pada bagian eksterior selalu lebih tinggi dibanding %RH eksterior. Hal ini dapat disebabkan karena kelembaban dan curah hujan di Indonesia sangat tinggi sehingga dinding eksterior memiliki %RH yang lebih besar. Pada Bandara Polonia Medan, %RH interior tertinggi yaitu 36,81% berada pada bulan Nopember, sedangkan terendah yaitu 30,04% pada bulan Agustus. Pada Bandara Halim Perdama Kusuma Jakarta, %RH interior tertinggi yaitu 40,83% berada pada bulan Februari, sedangkan terendah yaitu 32,87% pada bulan September. Kelembaban eksterior cenderung memiliki perbedaan yang lebih jauh antara nilai tertinggi dan terendahnya. %RH eksterior tertinggi pada Bandara Halim Perdama Kusuma Jakarta yaitu 82,79% sedangkan terendah

pada nilai 70,21% di bulan September. Tidak jauh berbeda dengan data di Medan, yaitu %RH eksterior tertinggi 83,35% di bulan Nopember. Sedangkan terendah pada bulan Juni yaitu 68,44%. Seperti terlihat pada Gambar 3 dan 4.

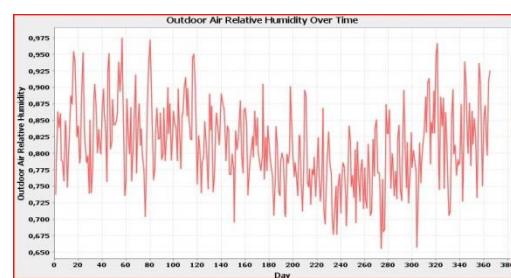


Grafik 3. Moisture content pada dinding di Jakarta

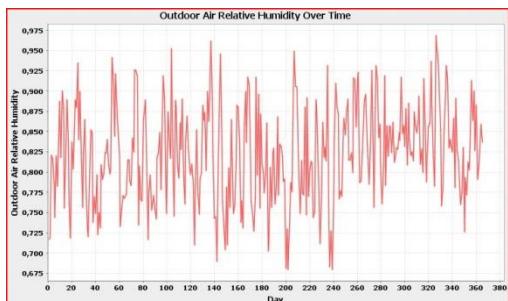


Grafik 4. Moisture content pada dinding di Medan

Kelembaban yang masuk ke dinding adalah berasal dari lingkungan, untuk itu perlu diperhatikan kelembaban yang berasal dari luar dinding. Dengan membandingkan Gambar 3 dan 4 dapat dilihat bahwa kelembaban lingkungan di Jakarta mengalami penurunan dari bulan April hingga Juli. Kemudian kelembaban kembali naik pada bulan Juli hingga Nopember berbeda dengan Jakarta. Sementara itu kelembaban di Medan cenderung stabil sehingga mempermudah pertumbuhan jamur.



Grafik 4.3. Kelembapan Lingkungan Jakarta



Grafik 4.4 Kelembapan Lingkungan Medan

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa dinding utara paling baik dalam menahan pertumbuhan jamur di dinding di kedua kota. Untuk semua sisi atap, di kedua lingkungan, jamur bisa tumbuh dengan jumlah jam yang sedikit, membuat kualitas atap di kedua lingkungan relatif tidak baik. Jumlah jam berbahaya untuk dinding di Jakarta relatif baik, kecuali di sisi timur dinding. Oleh karena itu, didapatkan bahwa dinding bangunan yang sama di Jakarta akan secara umum berkualitas baik daripada di Medan.

### Referensi

- [1]<https://amienvironmental.com/the-mold-equation-what-causes-mold-growth/>
- [2]Moisture conditions in passive house wall constructions/Lars Gullbrekkena, Stig Geving, Berit Time, Inger Andresen /2015
- [3]Parsons, Robert. 1997. ASHRAE Handbook - 1997 Fundamentals. American Society of Heating and Refrigerating
- [4]Sumardi, Budi, Rafdito.(2015).Sistem Pengukuran Data Suhu, Kelembapan, Dan Tekanan Udara Dengan Telemetri Berbasis Frekuensi Radio. ISSN: 2302-9927, 652