

Pengaruh Inersia Termal Tanah Terhadap Kenyamanan Ruangan : Pemanfaatan Teknik Pendinginan Pasif pada Bangunan di Daerah Tropis

Remon Lapisa^{1,2*}, Arwizet¹, Martias², Ahmad Arif², M.Y. Setiawan² dan Krismadinata³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*Corresponding author, e-mail: remonlapisa@ft.unp.ac.id

Abstrak— Sebuah desain bangunan yang baik harus memperhatikan karakteristik geografis, kondisi lingkungan dan iklim setempat dimana bangunan didirikan. Salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal bangunan adalah pengaruh inersia termal tanah dan material selubung bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh inersia termal tanah terhadap perubahan temperatur dan kenyamanan penghuni didalam ruangan. Pada bagian pertama, karakteristik bangunan dan pemodelan numerik akan dijelaskan yang dilengkapi dengan data iklim lokasi dimana studi kasus dilakukan. Perpindahan panas yang terjadi dari bangunan menuju tanah dan sebaliknya digambarkan secara detil pada bagian selanjutnya dengan menggunakan pendekatan model perpindahan panas tiga dimensi. Hasil simulasi numerik menggunakan TRNSYS^(R) menunjukkan bahwa inersia termal tanah berpengaruh secara signifikan terhadap suhu dan kenyamanan ruangan. Tanah dengan konduktivitas dan kapasistas termal yang baik mampu menurunkan tingkat ketidaknyamanan ruangan hingga 21.9%.

Kata Kunci : *inersia termal tanah, teknik pendinginan pasif, bangunan komersial, daerah tropis*

Abstract— A good building design should take into account the geographical characteristics, environmental conditions and local climate in which the building is constructed. One important factor that can affect the thermal comfort of buildings is the effect of ground thermal inertia and building materials. The purpose of this study is to analyze the effect of ground thermal inertia on indoor air temperature and thermal comfort of occupants. In the first part, the characteristics of building, the local climate characteristics and numerical modeling will be presented. The heat transfer between building and ground with three dimensional model approach is discussed in the next section. The result of numerical simulation using TRNSYS^(R) shows that the ground thermal inertia significantly affects indoor air temperature and building thermal comfort. The ground with good thermal conductivity and thermal capacity can reduce the building thermal discomfort up to 21.9%.

Keywords: *ground thermal inertia, passive cooling techniques, commercial building, tropical regions*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2018 by Author and Universitas Negeri Padang

1. Pendahuluan

Sektor bangunan merupakan salah satu kebutuhan fundamental bagi kehidupan manusia. Manusia menghabiskan paling sedikit 90% dari waktunya untuk berada didalam ruangan [1]. Oleh karena itu, kenyamanan termal bangunan menjadi sebuah faktor yang sangat penting untuk di pastikan dalam sebuah desain bangunan. Pada daerah tropis, salah satu cara yang biasa digunakan untuk menjamin tingkat kenyamanan termal

penghuni adalah penggunaan sistem pendinginan udara aktif. 46% dari jumlah bangunan yang ada pada negara yang tergabung dalam *the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* didaerah tropis dilengkapi dengan sistem pendinginan aktif ini [2]. Konsumsi energi untuk sistem pendingin ini tercatat mengambil bagian sebesar 43% dari total konsumsi energi rata-rata pada sebuah bangunan [3]. Lebih jauh lagi, sektor bangunan merupakan salah satu

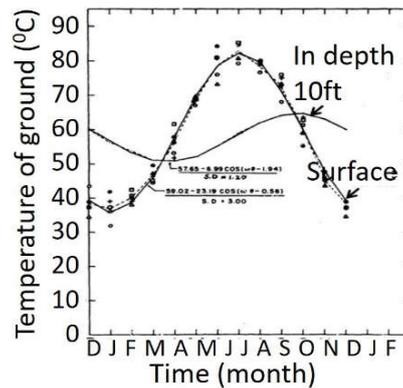
sektor yang penting dalam konsumsi energi global yang mencatatkan sebesar lebih dari 40% dari total konsumsi energi dunia [4]. Efek negatif dari pemakaian energi yang besar untuk perlatan pengkondisian udara adalah pencemaran lingkungan. Sektor bangunan bertanggung jawab sekitar 6% dari emisi gas CO₂ yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan pemanasan iklim global [5]. Oleh karena itu, pengembangan konsep teknik pendinginan pasif merupakan alternatif solusi yang tepat dalam penghematan konsumsi energi bangunan dan pengendalian dampak lingkungan.

Untuk mengatasi berbagai permasalahan yang ditimbulkan oleh sektor bangunan dalam hal krisis energi dan pencemaran lingkungan, maka perbaikan performa termal untuk efisiensi energi bangunan merupakan sebuah upaya yang tidak bisa dihindarkan. Untuk daerah tropis, perlu didesain sebuah konsep bangunan yang hemat energi terutama pada sistem pendingin dengan memanfaatkan teknik pendinginan pasif. Sebenarnya, performa bangunan tergantung kepada beberapa faktor seperti: iklim dan kondisi lingkungan, struktur dan disain geometri bangunan, sistem ventilasi, material bangunan yang digunakan, pola pendudukan, dll. Beberapa referensi dalam literatur dapat dijumpai tentang perbaikan performa termal diberbagai aspek seperti disain amplop [6], sistem ventilasi dan pencahayaan [7], pengaturan pola okupansi bangunan, dll.

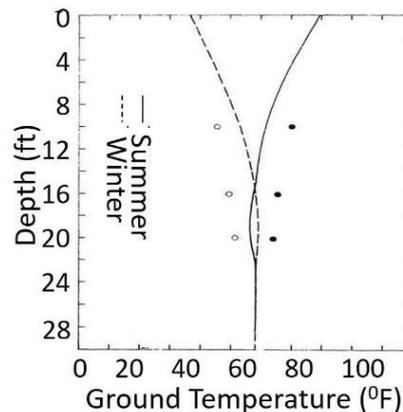
Disamping radiasi matahari, angin, temperatur dan humiditas udara luar, faktor eksternal lain yang berpengaruh pada performa termal bangunan adalah karakteristik tanah tempat bangunan didirikan. Perpindahan panas antara bangunan dan tanah terjadi melewati lantai yang besarnya tergantung kepada sifat termal tanah dan selubung bangunan. Untuk daerah beriklim tropis dengan temperatur udara luar yang cukup tinggi, tanah bisa berfungsi sebagai media pendingin yang dapat mengevakuasi panas berlebih dari ruangan menuju lingkungan. Oleh karena itu karakteristik termal tanah menjadi faktor penting yang berpengaruh dalam performa termal bangunan secara keseluruhan.

Temperatur tanah bervariasi menurut kedalaman dan sifat termal material yang dikandungnya. Pada kedalaman 10 meter suhu tanah menjadi stabil sepanjang tahun yang nilainya sama dengan rerata suhu tahunan udara luar [8]. Pada daerah beriklim dingin, disaat musim dingin atau malam hari, suhu tanah tercatat lebih tinggi dibandingkan suhu udara luar sehingga tanah

berfungsi sebagai *heat barrier* yang bisa mengurangi *heat loss* untuk sistem pemanas ruangan. Sebaliknya, untuk daerah tropis dan saat siang hari dimana suhu udara luar sangat tinggi, tanah berfungsi sebagai media pendingin karena suhunya berada jauh dibawah suhu udara luar dan suhu ruangan. Adapun profil temperatur tanah berdasarkan kedalaman lokasi diilustrasikan pada Gambar 1. Perubahan suhu tanah yang tidak ekuivalen dengan perubahan suhu udara luar ini disebabkan oleh efek inersia termal.



a. Variasi berdasarkan waktu



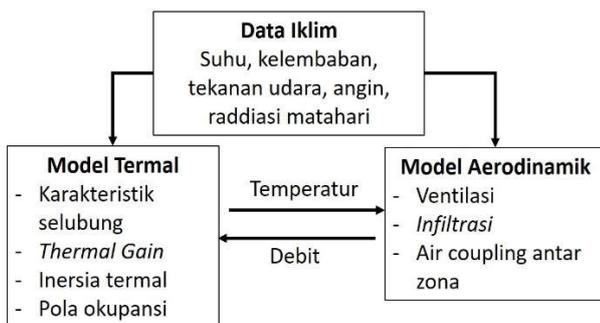
b. Variasi berdasarkan kedalaman

Gambar. 1. Profil perubahan suhu tanah [9]

Pada artikel ini, pengaruh inersia termal tanah terhadap perubahan suhu udara dalam ruangan dan tingkat kenyamanan pada bangunan akan dianalisa. Pada bagian pertama, karakteristik bangunan dan pemodelannya secara numerik dalam studi kasus bangunan komersial akan dijelaskan. Model numerik bangunan dibangun menggunakan software Trnsys dan Contam dengan metode pendekatan *multizone*. Pada bagian selanjutnya, model perpindahan panas antara bangunan dan tanah melewati lantai akan dibahas secara detail dengan menggunakan pendekatan perpindahan panas 3 dimensi. Kota Jakarta terpilih sebagai lokasi studi kasus untuk simulasi numerik yang mewakili daerah dengan iklim tropis.

2. Metodologi dan studi kasus

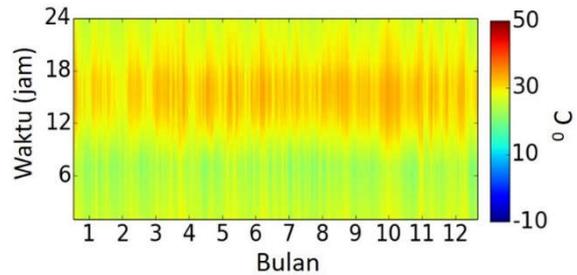
Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan kombinasi software Trnsys dan Contam. Aspek termal dihitung melalui tipe 56 pada Trnsys dengan memasukkan beberapa input seperti: kondisi iklim daerah setempat, karakteristik termal selubung, pola okupansi bangunan, dll. Sedangkan aspek aerodinamis seperti kecepatan angin, tekanan, ventilasi dan infiltrasi dimodelkan menggunakan tipe 97 Trnsys yang dikombinasi dengan software contam. Adapun diagram model numerik dapat dilihat pada Gambar 2. *Time step* yang diambil dalam simulasi adalah 1 jam dengan satu tahun periode inisialisasi untuk menghindari pengaruh inersia termal lingkungan. Evaluasi kenyamanan termal dilakukan dengan menggunakan indikator *degree-hours (DH)* [10, p. 15251] yang dihitung berdasarkan temperatur operative [11].



Gambar 2. Organigram pemodelan numerik

2.1. Kondisi iklim Jakarta

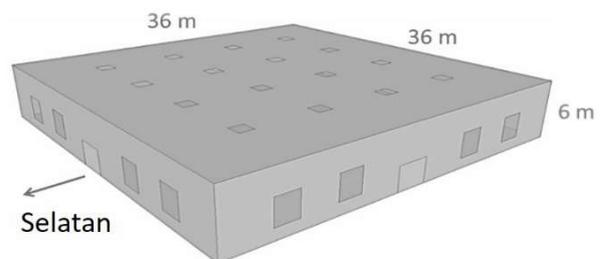
Berdasarkan pada *Köppen Climate Classification*, Jakarta diklasifikasikan kedalam wilayah *tropical rainforest climate* yang sering juga disebut dengan '*equatorial climate*'. Pada daerah dengan latitude 6.08 LS dan longitude 106.9 BT ini, suhu udara luar bervariasi antara 24.5°C hingga 38.4°C dengan nilai rata-rata sebesar 27.3°C [12]. Karena merupakan daerah maritim yang berada digaris katulistiwa, kelembaban udara rata-rata tahunan tercatat cukup tinggi sebesar 70% - 85% [12]. Sebagai daerah yang berada digaris katulistiwa, radiasi cahaya matahari solar tercatat stabil disepanjang tahun dengan nilai maksimal 1053 W.m⁻² dan rerata tahunan sebesar 417 W.m⁻². Sebagai tambahan, Jakarta berada pada area pantai dimana efek inersia termal laut ikut berpengaruh pada suhu dan humiditas udara luar. Adapaun profil temperatur kota Jakarta selama periode satu tahun dapat dilihat pada Gambar 3.



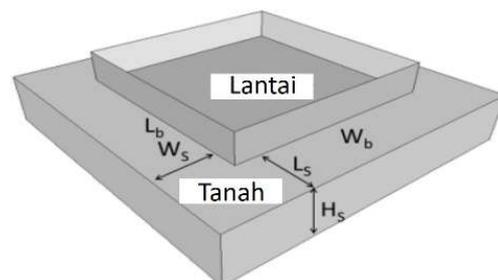
Gambar 3. Profil temperature udara luar di deareah Jakarta

2.2. Kondisi iklim Jakarta

Bagian utama dari bangunan komersial yang dipelajari pada studi kasus ini memiliki ukuran 36m x 36m terbuat dari struktur baja yang dilapisi dengan isolasi termal. Bangunan komersial dengan kerangka besi ini memiliki tinggi 6m (Gambar 4). Dinding vertikal dengan ketebalan total 305 mm dilengkapi dengan jendela seluas 30 m² untuk masing-masing sisinya. Atap bangunan dirancang berbentuk teras (atap datar) dengan ketebalan total sebesar 255mm. Pada permukaan atap dipasang 16 buah jendela transparan (*skylight*) dengan luas keseluruhan sebesar 31,36 m² yang setara dengan 2.42 % dari permukaan total atap. Lantai bangunan terbuat dari beton dengan ketebalan 160mm terletak langsung diatas tanah terbuka tanpa isolasi termal. Rak-rak dalam ruangan terisi penuh oleh barang merchandise dengan inersia termal yang tidak bisa diabaikan.



a. Tampilan 3D permukaan luar bangunan



b. Tampilan 3D pemodelan tanah

Gambar 4. Tampilan 3 dimensi dari bangunan yang dianalisa

Dalam studi kasus ini rak dagangan dianggap menempati 30% dari luas lantai yang setara dengan 14.9% dari volume total ruangan. Bangunan komersial ini beroperasi setiap hari dalam periode waktu antara jam 07.00 dan 22.00 WIB, kecuali hari minggu. Densitas hunian pada bangunan ini dianggap sebesar $11.6 \text{ m}^2 \cdot \text{occ}^{-1}$ [13]. Gain Termal pada bangunan secara esensial berasal dari radiasi termal pengunjung yang melakukan aktivitas sedang dengan nilai 1.6 Met yang setara dengan $93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [14].

2.3. Studi literatur model perpindahan panas antara tanah dan bangunan

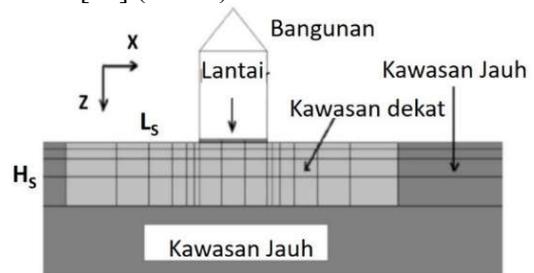
Dalam studi literatur, terdapat banyak pemodelan perpindahan panas yang terjadi antara tanah dan lantai bangunan antara lain (a) model satu dimensi (1D), (b) model 2 dimensi (2D) dan (c) model tiga dimensi (3D). Beberapa model diantaranya adalah yang dikembangkan oleh Bareither [15], Macey [16], [17], Vuorelaine, Muncey-Spencer, Delsante [5–7] dan Anderson [8]. Mereka mengusulkan sebuah pendekatan model 2D dan penyederhanaan 1D untuk kondisi stasioner. Dalam berbagai model ini mereka membagi fluks yang mengalir pada lantai menjadi dua bagian: fluks permukaan lantai menuju kedalaman dan fluks yang berada disekeliling lantai. Namun terdapat kelemahan dalam beberapa model ini yaitu tidak mengikutsertakan efek inersia termal tanah dalam perhitungan analitik.

2.4. Model perpindahan panas 3 dimensi

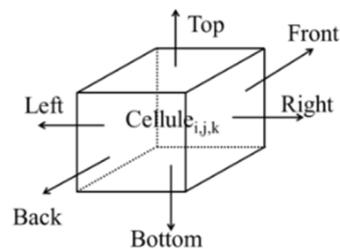
Dalam penelitian ini, perhitungan perpindahan panas dari bangunan menuju tanah melalui lantai dilakukan dengan cara lebih presisi melalui pendekatan 3 dimensi. Volume tanah yang berada disekitar bangunan dibagi kedalam elemen-elemen kecil yang disebut dengan ‘Sel’ melalui proses diskretisasi dengan menggunakan penyelesaian analisa numerik (Gambar 5). Semakin halus ukuran sel dalam proses diskretisasi maka semakin presisi hasil yang diperoleh, namun semakin lama waktu simulasi yang digunakan. Salah satu model 3D yang banyak digunakan dalam perhitungan perpindahan panas pada lantai adalah model yang dikembangkan oleh Thronton et al [16]. Model ini memiliki validitas dan reliabilitas yang memadai dalam hasil kalkulasi numerik dengan waktu simulasi yang tidak terlalu lama. Pada model ini, tanah diklasifikasikan menjadi dua bagian besar: ‘kawasan dekat’ dan ‘kawasan jauh’. Kawasan dekat merupakan bagian tanah yang terpapar langsung dengan efek termal dari bangunan sedangkan kawasan jauh merupakan bagian tanah

yang tidak lagi mengalami pengaruh termal dari keberapadaan bangunan. Dimensi ‘kawasan dekat’ dengan ukuran panjang L_s , lebar W_s dan tinggi H_s dapat dilihat pada Gambar 5. Pada tanah yang berada dalam ‘kawasan jauh’ (diluar dimensi L_s dan W_s) maka perpindahan panas yang terjadi pada tanah dianggap secara adiabatik.

Perhitungan perpindahan panas yang terjadi disepanjang volume di kawasan dekat dapat dilakukan menggunakan persamaan diskretisasi (Pers 1). Untuk penyederhanaan pendekatan, perubahan temperatur tanah terhadap fungsi waktu dan kedalaman tanah dihitung berdasarkan persamaan yang dikembangkan oleh Kusuda dan Achenbach [23] (Pers 2).



a. Diskretisasi volume dalam model 3D [16]



b. Elemen diskret untuk perhitungan numerik
Gambar. 5. Pemodelan 3D dan diskretisasi volume tanah

$$m_{i,j,k} c_{m,sol} \frac{dT_{i,j,k}}{dt} = \sum \dot{Q}_{in} \quad (1)$$

$$= \dot{Q}_{left} + \dot{Q}_{right} + \dot{Q}_{front} + \dot{Q}_{back} + \dot{Q}_{top} + \dot{Q}_{bottom}$$

Dimana $m_{i,j,k}$ adalah massa ‘sel tanah’ (kg), $c_{m,sol}$ adalah kapasitas panas volumetrik tanah ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$), $T_{i,j,k}$ adalah suhu tanah pada titik i,j,k ($^{\circ}\text{C}$) dan Q adalah flux termal untuk arah kiri (*left*), kanan (*right*), depan (*front*), belakang (*back*), atas (*top*) dan bawah (*bottom*) dari sebuah sel ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

Dalam studi ini, sifat termal tanah dianggap homogen dan konstan disetiap waktu tanpa dipengaruhi oleh variasi suhu udara luar yang berfluktuasi antara siang dan malam. Disamping itu, efek dari kelembaban tanah diabaikan dengan menganggap bahwa kandungan air didalam tanah relatif rendah. Untuk analisa lebih lanjut, dalam

penelitian ini efek termal dari tiga jenis tanah terhadap perpindahan panas, suhu bangunan dan kenyamanan penghuni akan dilakukan. Ketiga jenis tanah dengan karakteristik termal yang berbeda dapat dijelaskan sebagai berikut: (1) *tanah berpasir* dengan konduktivitas termal $2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ dan kapasitas termal volumetrik 2 MW.m^{-3} , (2) *tanah liat* dengan konduktivitas termal $1.5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ dan kapasitas termal volumetrik 3 MW.m^{-3} dan (3) *tanah berbatu kapur* dengan konduktivitas termal $3.5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ dan kapasitas termal volumetrik 2 MW.m^{-3} .

$$T_{(z,t)} = T_m - T_a e^{\left(-z \left(\frac{\pi}{365 a}\right)^{0.5}\right)} \cos\left(\frac{2\pi}{365} \left[t - t_s - \frac{z}{2} \left(\frac{365}{\pi a}\right)^{0.5} \right]\right) \quad (2)$$

Dimana $T_{(z,t)}$ adalah suhu tanah pada titik z dan waktu t ($^{\circ}\text{C}$), T_m adalah suhu rerata tahunan udara luar ($^{\circ}\text{C}$), T_a adalah amplitude variasi suhu udara luar ($^{\circ}\text{C}$), z adalah kedalaman tanah (m), t adalah waktu dihitung dari 1 Januari (jam), t_s adalah hari dimana suhu terendah terjadi (hari) dan a adalah difusivitas termal tanah (m.s^{-2}).

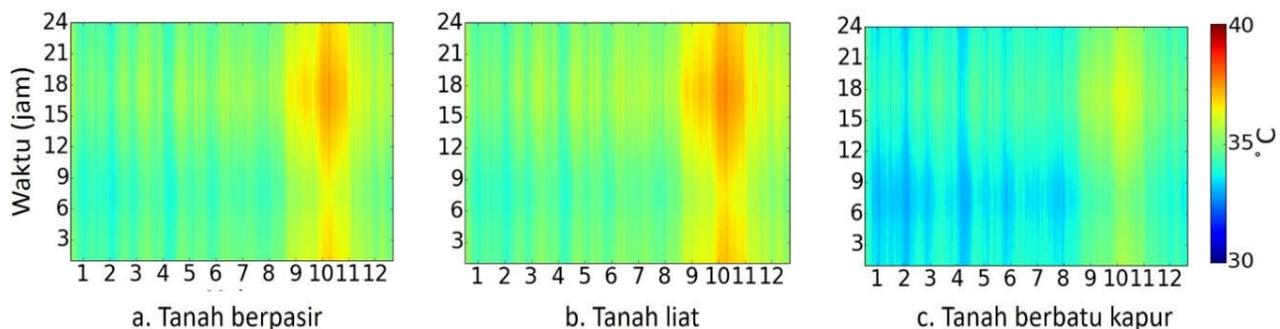
3. Hasil dan pembahasan

Untuk daerah beriklim panas seperti Indonesia, pada siang hari disaat suhu udara eksterior tinggi, lantai yang tidak terisolasi bisa berfungsi sebagai sebuah media pelepas termal yang baik. Akibat suhu tanah yang lebih rendah dibandingkan suhu ruangan dan suhu udara luar, fluks kalor akan mengalir dari ruangan menuju tanah melalui lantai. Pembuangan panas melalui lantai bisa menurunkan

suhu udara ruangan. Serapan panas akibat efek inersia tanah ikut berkontribusi dalam menurunkan suhu puncak yang terjadi pada siang hari. Kalor yang terserap didalam tanah dari ruangan kemudian di transfer menuju lokasi ‘kawasan jauh’ yang akhirnya akan dibuang ke lingkungan pada saat temperatur udara luar lebih rendah dibandingkan dengan temperatur permukaan tanah. Besarnya efek pendinginan secara pasif ini sangat tergantung kepada karakteristik termal tanah itu sendiri.

Efek dari inersia termal tanah terhadap penurunan suhu udara ruangan dapat dianalisa secara langsung dari perubahan suhu permukaan lantai bangunan. Pada lantai tanpa isolasi termal, kalor akan ditransfer secara langsung menuju kedalaman tanah. Gambar 6 menampilkan <http://invotek.ppj.unp.ac.id/index.php/invotek/article/view/271> perubahan suhu permukaan lantai berdasarkan tiga jenis tanah yang yang dipelajari: tanah berpasir, tanah liat dan tanah berbatu kapur.

Hasil ini simulasi numerik menunjukkan bahwa pada saat kondisi panas untuk daerah tropis, suhu lantai akan menjadi lebih sejuk pada kasus tanah dengan jenis berbatu kapur (Gambar 6.c). Hal ini disebabkan oleh tingginya konduktivitas termal tanah dengan tipe berbatu kapur ($3.5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) dibandingkan dengan tanah jenis lainnya. Nilai konduktivitas termal yang tinggi merupakan representasi dari besarnya kemampuan tanah dalam mentransfer panas menuju kawasan jauh. Disamping itu, kapasitas termal tanah yang tinggi menyebabkan tanah memiliki kemampuan yang cukup dalam menyimpan panas pada saat siang hari yang kemudian akan dibuang pada malam hari menuju lingkungan.

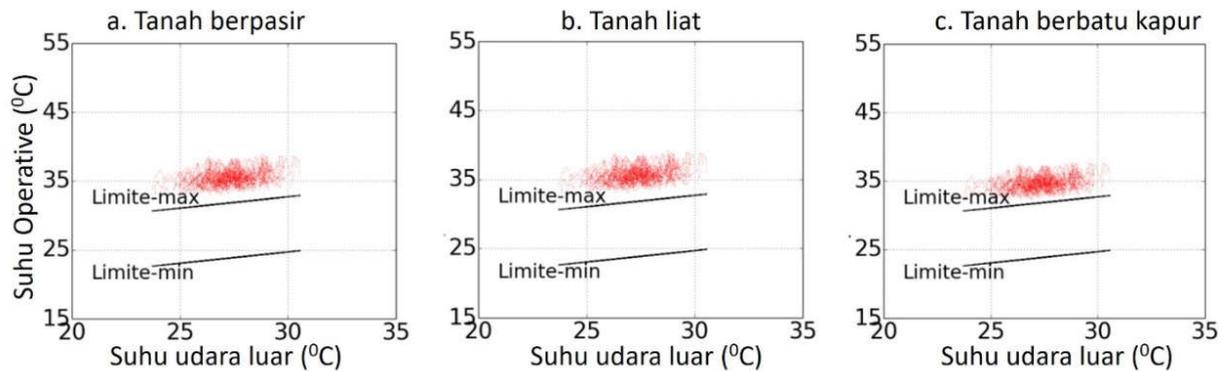


Gambar. 6. Profil suhu permukaan lantai untuk beberapa jenis tanah

Perpindahan panas yang terjadi melewati lantai dari ruangan menuju kedalaman tanah dapat menyebabkan penurunan temperature operative dalam ruangan. Gambar 7 menunjukkan perubahan suhu operative ruangan pada kondisi berbagai

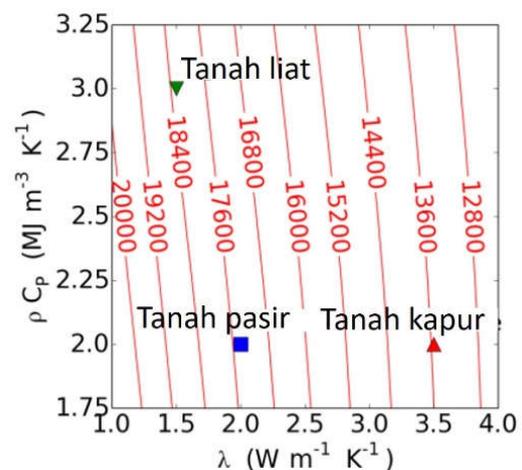
karakteristik tanah yang dianalisa. Hasil numerik menunjukkan bahwa, secara umum suhu ruangan menjadi lebih sejuk untuk kasus tanah berbatu kapur. Dengan nilai konduktivitas dan kapasitas termal yang tinggi, tanah mampu membuang

kelebihan panas yang terperangkap didalam ruangan sehingga bangunan menjadi lebih nyaman.



Gambar. 7. Perubahan suhu operative ruangan untuk berbagai jenis tanah

Selanjutnya, pengaruh sifat termal tanah terhadap perubahan nilai *degree-hours* (*DH*) divisualisasikan pada Gambar 8. Nilai *DH* ($^{\circ}\text{Ch}$) merupakan penjumlahan dalam periode satu tahun dari selisih suhu udara ruangan dikurangi suhu batas nyaman yang ditetapkan melalui metoda *adaptive comfort* [10, p. 15251]. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai konduktivitas termal tanah (λ) maka semakin rendah nilai *DH* dalam ruangan bangunan. Penurunan nilai *DH* ini merepresentasikan peningkatan kenyamanan termal penghuni karena suhu udara semakin mendekati batas kenyamanan yang ditetapkan. Jika dibandingkan dengan tanah berpasir, nilai *DH* pada tanah berbatu kapur mengalami penurunan dari 17420 $^{\circ}\text{Ch}$ menjadi 13600 $^{\circ}\text{Ch}$ (menurun sebesar 21.9%). Sementara itu, peningkatan nilai kapasitas panas volumetrik juga ikut berkontribusi dalam penurunan nilai *DH* (Gambar 8). Hal ini menunjukkan bahwa penyerapan panas oleh tanah yang kemudian dibuang ke lingkungan bisa meningkatkan performa termal dan kenyamanan bangunan. Oleh karena itu, untuk daerah tropis, pemasangan isolasi termal pada lantai menjadi kontra-produktif untuk kenyamanan dan dapat meningkatkan suhu ruangan.



Gambar. 8. Perubahan nilai *DH* ($^{\circ}\text{Ch}$) berdasarkan sifat termal tanah

4. Kesimpulan

Studi numerik pada bangunan komersial di daerah tropis ini telah menunjukkan pengaruh signifikan dari inersia termal tanah terhadap perubahan temperatur ruangan dan tingkat kenyamanan termal penghuni. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi inersia termal tanah (yang diwakili oleh nilai konduktivitas dan kapasitas termal) yang berada dibawah bangunan, maka suhu ruangan akan menjadi lebih rendah dan tingkat kenyamanan termal semakin baik. Untuk daerah tropis, pada siang hari disaat suhu udara luar dan ruangan tinggi, tanah berfungsi sebagai media pendingin yang mampu menyerap kelebihan panas dari ruangan dan membuangnya ke lingkungan. Besarnya penyerapan dan pembuangan panas ini tergantung kepada karakteristik termal tanah dan kondisi lantai bangunan. Pemasangan isolasi termal dibawah lantai bangunan untuk daerah beriklim tropis merupakan langkah yang kontra-produktif terhadap proses pendinginan pasif dan

menyebabkan naiknya tingkat ketidaknyamanan termal penghuni.

Metodologi dan hasil yang dipaparkan dalam artikel ini bisa bermanfaat bagi seorang arsitektur dan ahli bangunan dalam merancang sebuah disain gedung yang hemat energi dengan memanfaatkan proses pendinginan pasif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. W. Evans and J. M. McCoy, 'When buildings don't work: The role of architecture in human health', *J. Environ. Psychol.*, vol. 18, no. 1, pp. 85–94, 1998.
- [2] M. Santamouris *et al.*, *Advances in passive cooling*. London, UK: Earthscan, 2007.
- [3] P.C. Yu and W. Chow, 'Energy use in commercial buildings in Hong Kong', *Appl. Energy*, vol. 69, pp. 243–255, Mar. 2001.
- [4] X. Cao, X. Dai, and J. Liu, 'Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade', *Energy Build.*, vol. 128, pp. 198–213, Sep. 2016.
- [5] IPCC, 'Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change'. Cambridge University Press, 2014.
- [6] Z. Romani, R. Lapisa, A. Draoui, and F. Allard, 'Multicriteria optimization on the energy-saving refurbishment of existing buildings to achieve low energy consumption by considering the climatic change', 2016.
- [7] R. Lapisa, E. Bozonnet, P. Salagnac, and M. O. Abadie, 'Optimized design of low-rise commercial buildings under various climates – Energy performance and passive cooling strategies', *Build. Environ.*, vol. 132, pp. 83–95, Mar. 2018.
- [8] M. H. Adjali, M. Davies, S. W. Rees, and J. Littler, 'Temperatures in and under a slab-on-ground floor: two- and three-dimensional numerical simulations and comparison with experimental data', *Build. Environ.*, vol. 35, no. 7, pp. 655–662, Oct. 2000.
- [9] T. Kusuda and J. W. Bean, 'Simplified methods for determining seasonal heat loss from uninsulated slab-on-grade floors', *ASHRAE Trans United States*, vol. 90, no. CONF-840124-, 1984.
- [10] ISO EN 15251, 'Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics'. International Organization for Standardization, 2007.
- [11] NF EN ISO 7726, 'Ergonomie des ambiances thermiques - Appareils de mesure des grandeurs physiques', Jan. 2002.
- [12] Meteonorm, 'Meteonorm Software: Meteonorm is a unique combination of reliable data sources and sophisticated calculation tools'. 2015.
- [13] M. Deru, K. Field, D. Studer, B. Kyle, B. Griffith, and P. Torcellini, *U.S. Department of Energy Commercial Reference Building Models of the National Building Stock*, vol. NREL/TP-5500-46861. Colorado, US: National Renewable Energy Laboratory, 2011.
- [14] ISO 7730, 'Ergonomics of thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria', 2006.
- [15] H. Bareither, A. Fleming, and B. Albery, 'Temperature and heat loss characteristics of concrete floors laid on the ground', University of Illinois, Illinois, USA, Research report 48-1, Aug. 1948.
- [16] A. E. Delsante, 'Theoretical calculations of the steady-state heat losses through a slab-on-ground floor', *Build. Environ.*, vol. 23, no. 1, pp. 11–17, 1988.
- [17] H. H. Macey, 'Heat loss through a solid floor', *J. Inst. Fuel*, vol. 22, pp. 369–371, 1949.
- [18] A. E. Delsante, A. N. Stokes, and P. J. Walsh, 'Application of Fourier transforms to periodic heat flow into the ground under a building', *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 26, no. 1, pp. 121–132, 1983.
- [19] R. W. R. Muncey and J. W. Spencer, 'Heat flow into the ground under a house', *Energy Conserv. Heat. Cool. Vent. Build.*, vol. 2, pp. 649–660, 1978.
- [20] O. Vuorelainen, *The temperatures under houses erected immediately on the*

ground and the heat losses from their foundation slab, vol. 55. Finland Institute of Technology., 1960.

- [21] B. R. Anderson, ‘Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor’, *Build. Environ.*, vol. 26, no. 4, pp. 405–415, 1991.
- [22] J. Horton *et al.*, ‘TRNSYS 17 manual book: Mathematical reference’. Solar Energy Laboratory, Mar-2012.
- [23] T. Kusuda and P. R. Achenbach, ‘Earth temperature and thermal diffusivity at selected stations in the United States’, DTIC Document, 1965.

Biodata Penulis

Remon Lapisa, merupakan staf pengajar di jurusan Teknik Mesin dan Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang mulai tahun 2008n hingga sekarang. Penulis menyelesaikan pendidikan jenjang S1 di Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada lulus tahun 2001, pendidikan jenjang S2 pada program *double degree* antara Universitas Indonesia dan Universite de La Rochelle – France pada bidang *Mechanical Engineering* lulus tahun 2011 dan menyelesaikan pendidikan jenjang S3 di bidang *Mechanical Engineering* di Universite de La Rochelle lulus tahun 2015. Penulis banyak melakukan riset dalam bidang *building energy efficiency, thermal comfort, heat transfer, dll*.

Arwizet, adalah seorang staf pengajar di jurusan Teknik Mesin UNP. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Teknik Mesin Universitas Andalas, pendidikan S2 di prodi Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung dan jenjang S3 di program studi Pendidikan Teknologi Kejuruan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, lulus tahun 2016. Bidang riset penulis antara lain termodinamika, perpindahan panas, pendidikan vokasi teknik mesin, dll.

Martias, merupakan staf pengajar di jurusan Teknik Otomotif UNP mulai tahun 1992 hingga saat ini. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di prodi pendidikan Teknik Mesin UNP dan jenjang S2 di prodi Pendidikan Teknologi Kejuruan Fakultas Teknik UNP. Beberapa tema riset yang sedang dilakukan oleh penulis antara lain perpindahan panas, pendidikan vokasi teknik otomotif, dll

Ahmad Arif, adalah staf pengajar di jurusan Teknik Otomotif UNP mulai terhitung mulai tahun 2014 hingga saat ini. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di prodi pendidikan Teknik Otomotif UNP dan jenjang S2 di prodi Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Surabaya. Tema penelitian unggulan penulis adalah motor bakar, perpindahan panas dan mekanika fluida dalam teknologi kendaraan.

M. Yasep Setiawan, merupakan staf pengajar di jurusan Teknik Otomotif UNP mulai dari mulai tahun 2013 hingga Sekarang. Penulis menamatkan pendidikan level sarjana di prodi pendidikan Teknik Otomotif UNP dan jenjang Magister Teknik di prodi Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain perpindahan panas, mekanika fluida, disain kendaraan, dll.

Krismadinata, adalah dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro UNP mulai dari mulai tahun 2000 hingga saat ini. Penulis menamatkan pendidikan level sarjana di prodi Teknik Elektro Universitas Andalas, jenjang Magister Teknik di prodi Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung dan jenjang S3 di Electrical Engineering di University of Malaya - Malaysia. Beberapa tema unggulan dalam penelitian penulis antara lain elektronika daya, pembangkit listrik tenaga surya, konversi energi listrik, dll