



PAPER – OPEN ACCESS

Kinerja Pendinginan Alami pada Dinding Tropis Nusantara Kontemporer dalam Memproduksi Ruang Nyaman Masa Kini

Author : Agung Murti Nugroho
DOI : 10.32734/ee.v2i1.415
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 2 Issue 1 – 2019 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Kinerja Pendinginan Alami pada Dinding Tropis Nusantara Kontemporer dalam Memproduksi Ruang Nyaman Masa Kini

Agung Murti Nugroho*

Universitas Brawijaya, Jl. MT Haryono No. 167, Malang, Indonesia

sasimurti@yahoo.co.id

Abstrak

Makalah ini membahas tentang kinerja pendinginan alami pada Rumah Tropis Nusantara Kontemporer sebagai jawaban atas permasalahan tempat tinggal di wilayah perkotaan yang padat. Kajian desain tropis bertujuan mengevaluasi strategi dan aplikasi pendinginan alami pada rumah Tropis Nusantara masa kini untuk pengembangan di masa depan. Metode penelitian dengan cara pengukuran lapangan suhu dan kelembaban udara pada kondisi eksisting serta aplikasi dinding ventilasi, dinding berpori dan dinding *bio climatic* untuk mengetahui kinerja penurunan suhu udara dalam ruang serta di perbandingkan dengan area suhu netralnya. Hasil penelitian menunjukkan dinding *bio climatic* mempunyai kinerja pendinginan alami paling besar yaitu mampu menurunkan suhu udara sebesar 2,5°C diikuti dinding ventilasi sebesar 2,2°C dan dinding berpori sebesar 1,5°C. Strategi pendinginan alami melalui aplikasi dinding *bio climatic*, dinding ventilasi dan dinding berpori mampu memproduksi ruang nyaman sepanjang hari.

Keywords: Tropis Nusantara; pendinginan alami; dinding ventilasi, berpori dan *bio climatic*

Abstract

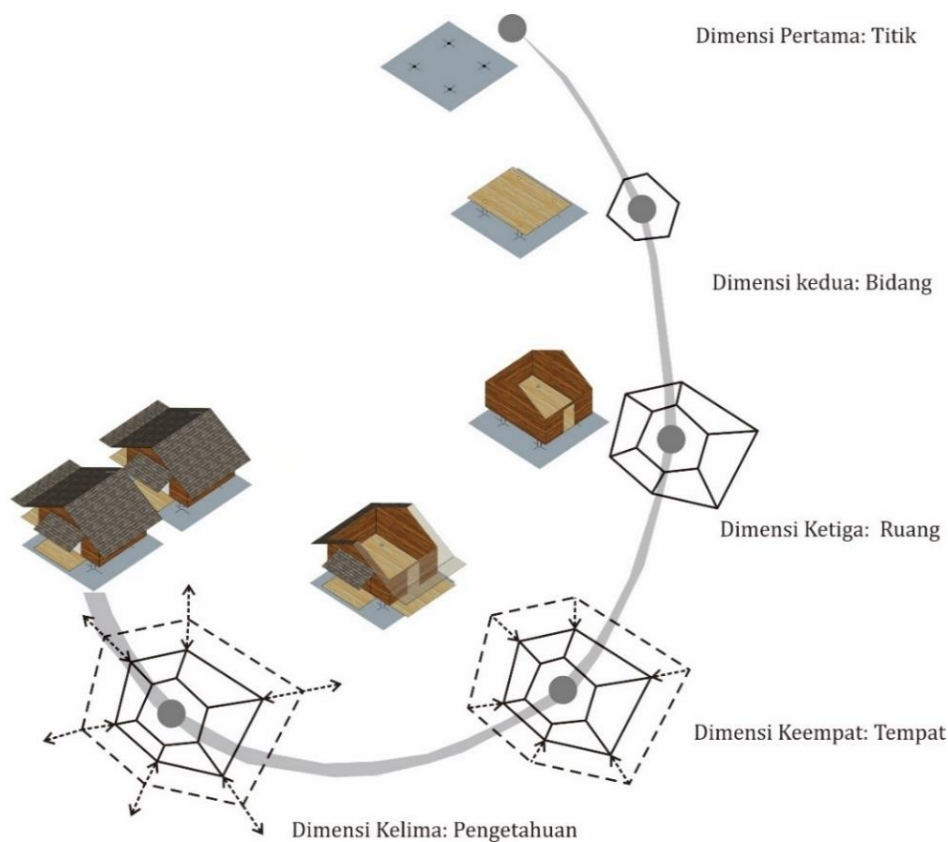
This paper discusses natural cooling performance in the Tropical House of the Contemporary Archipelago in response to the problem of dwelling in dense urban areas. The tropical design study aims to evaluate the strategies and application of natural cooling to the homes of tropical Nusantara today for future development. The research method is by measuring the temperature and air humidity in the existing conditions as well as the application of ventilation walls, porous walls and bioclimatic walls to determine the performance of decreasing air temperature in space and compared with its neutral temperature area. The results showed that the bioclimatic wall had the highest natural cooling performance, which was able to reduce the air temperature by 2.5 ° C followed by wall ventilation at 2.2 ° C and porous walls at 1.5 ° C. Natural cooling strategies through the application of bioclimatic walls, ventilation walls, and porous walls are capable of producing comfortable spaces throughout the day.

Keywords: Tropical Archipelago; natural cooling; ventilation walls, porous, bioclimatic

1. Pengantar Arsitektur Tropis Nusantara

Arsitektur Nusantara secara empiris dapat di maknai sebagai seni, pengetahuan dan teknologi lingkungan binaan yang terfokus pada rupa, ruang, tempat, dan budaya di kepulauan tropis antara dua benua dan dua samudera (Asia Tenggara) yang memuat nilai-nilai alami dan manusiawi. Keilmuan Arsitektur Nusantara tidak lepas dari sistem keyakinan-pengetahuan dan dimensi arsitekturalnya. Dimensi Nusantara diawali dengan dimensi pertama yaitu titik amatan, setiap manusia memerlukan titik amatan sehingga keilmuan Arsitektur Nusantara selalu mengandung unsur fokus dan detail. Dimensi kedua adalah bidang, yang berwujud keragaman ornamen sebagai wajah alam kehidupan pada lingkungan binaan. Dimensi ketiga adalah ruang sebagaimana pendapat Pangarsa [1] bahwa ciri ruang Nusantara adalah digunakan oleh banyak aktifitas (memproduksi ruang) dan tidak digunakan secara individual (mengkonsumsi ruang). Dimensi keempat menyangkut aspek tempat yang terkait dengan perubahan makna ruang seiring waktu (pagi, siang, sore dan malam) dan pelaku. Dimensi kelima adalah aspek pengetahuan yang didasarkan pada falsafah budaya yang mensejajarkan Arsitektur Nusantara dalam perkembangan pengetahuan Arsitektur di dunia masa kini [2]. Kelima dimensi tersebut juga merupakan kecenderungan perkembangan keilmuan arsitektur di dunia dengan istilah: *sustainable architecture*, *green architecture*, *climatic responsive architecture*, *participatory design* dan *smart building* [3].

Tradisi adaptasi tropis merupakan proses yang panjang dan menjadi wujud kreasi serta inovasi sesuai jamannya. Arsitektur Tropis Nusantara sebagai bagian dari Sains atau Pengetahuan Arsitektur Nusantara merupakan kajian lintas keilmuan melalui pendalaman teori maupun empiris tentang Arsitektur Tropis dalam konteks keberlanjutan Arsitektur Nusantara. Langkah riset dan desain untuk mewujudkan keberlanjutan Arsitektur Tropis Nusantara melalui: pertama, menemu-kenali dimensi wadah, pelaku dan lingkungan binaan Nusantara. Kedua, menumbuh-kembangkan pada dua arah yaitu ke luar sebagai sumbangan keilmuan universal atau kesemestaan dan ke dalam sebagai akar identitas bangsa atau kesetempatan. Ketiga, ketepatan-gunaan Arsitektur Tropis Nusantara pada dimensi titik, bidang, ruang, tempat dan pengetahuan budaya [4] (gambar 1).



Gambar 1. Dimensi Arsitektur Nusantara

Source: Nugroho, 2018

2. Strategi Pendinginan Alami pada Rumah Tropis Nusantara

Karyono [5] mendefinisikan Arsitektur Tropis sebagai karya arsitektur yang memberikan solusi terhadap permasalahan iklim di lingkungannya berada. Nugroho [4] mendefinisikan Arsitektur Tropis Nusantara adalah seni, pengetahuan & teknologi lingkungan binaan yang berlokasi di kepulauan tropis Asia Tenggara; ter fokus pada simpul, rupa, ruang, tempat & keilmuan melalui teknik temu-kenali, tumbuh-kembang, tepat-guna untuk kebaruaran nilai alami dan manusiawi. Pembahasan terkait bangunan tropis harus didekati dari aspek iklim terutama oleh bidang Sains Bangunan atau Sains Arsitektur agar dapat memberikan jawaban lebih tepat dan terukur. Pertumbuhan kota yang cepat telah mengubah lingkungan perkotaan seiring semakin hilangnya area hijau yang memberi pengaruh signifikan terhadap tingkat kenyamanan dalam bangunan. Kondisi kenyamanan bangunan meningkat secara signifikan akibat paparan radiasi matahari di luar rumah yang berlebih [6]. Pada iklim tropis, selubung bangunan terutama elemen jendela sangat mempengaruhi kondisi panas pada siang hari [7]. Kondisi kenyamanan termal bangunan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dapat dicapai melalui strategi penurunan suhu di siang hari baik melalui cara pasif atau aktif.

Teknik penurunan suhu ini dapat dilakukan dengan modifikasi faktor iklim, pertukaran panas tubuh manusia dan komponen bangunan. Faktor iklim mencakup radiasi matahari, suhu udara, angin dan kelembaban udara. Aspek pertukaran panas manusia dapat dilakukan dengan perhitungan suhu secara fisiologis guna mencapai kenyamanan termal manusia [8]. Indeks kenyamanan termal ditentukan oleh parameter lingkungan yaitu suhu udara, radiasi matahari, kelembaban udara dan kecepatan angin. Parameter lingkungan tersebut dapat diubah dengan komponen bangunan yang tanggap terhadap iklim [9]. Bangunan yang mempunyai naungan atau peneduh yang cukup menunjukkan kondisi suhu udara di dalam ruangan yang lebih rendah dibanding suhu udara di luar. Beberapa penelitian [10], [11], [12], [13] menunjukkan keterhubungan antara faktor iklim, pengguna dan komponen bangunan terhadap terciptanya kondisi kenyamanan termal yang lebih baik di daerah tropis.

Pengembangan keilmuan Arsitektur Tropis Nusantara mengacu pada aspek dimensi Arsitektur Nusantara (titik, bidang, ruang, tempat dan pengetahuan) sesuai dengan konteks kesetempatan (lokus), tema kajian (fokus), teknik kajian (modus) dan kebaruaran semesta pengetahuan (novus). Pendinginan Alami adalah strategi desain untuk tercapainya suhu udara pada batas ambang kenyamanan manusia dengan tahapan: merumuskan suhu netral suatu tempat berdasarkan data iklim (lokus); mengenali elemen bangunan yang dominan terkait fungsi (fokus); melakukan serangkaian teknik rekayasa pengukuran dan simulasi hingga masuk dalam batas suhu udara nyaman (modus) dan mendapatkan hasil yang optimal terhadap kelembaban udara dan kecepatan aliran udara (novus). Suhu Netral adalah suhu nyaman pada suatu daerah tertentu didasarkan rerata suhu udara per bulan dalam satu tahun dengan menggunakan data iklim minimal 5 tahun sesuai rumus yang dikembangkan oleh Szokolay [8].

Pada bangunan-bangunan tradisional, penempatan dinding ventilasi seperti jendela dan pintu pada titik-titik tertentu untuk menciptakan aliran udara. Dinding ventilasi yang dapat dibuka dapat mengurangi panas dan lembab namun apabila tidak terlindung dapat meningkatkan suhu dalam ruang akibat masuknya panas matahari. Dinding ventilasi pada bagian sisi timur dan barat adalah bagian utama yang perlu dilindungi, karena panas matahari lebih tinggi pada orientasi tersebut [4]. Ukuran bukaan merupakan cara yang paling efisien dalam menciptakan ventilasi silang yang berhasil. Perbandingan suhu udara dalam ruang menunjukkan selisih lebih dari 1,5°C antara tempat tinggal berventilasi silang dan tidak berventilasi silang [14]. Prianto dan Depecker [15] meneliti berbagai jenis kisi jendela untuk meningkatkan tingkat kenyamanan melalui peningkatan kecepatan udara dalam ruang. Jendela kisi dengan sudut 45 derajat mencapai kondisi nyaman untuk aktivitas ringan dan sedang.

Rumah tradisional di Nusantara telah menerapkan konsep dinding berpori terutama yang berlokasi di pesisir dan dataran. Sedangkan pada rumah yang berlokasi di pegunungan terdapat penggunaan dinding ganda untukantisipasi cuaca yang dingin. Desain dinding berpori pada tradisi rumah di masa lalu didukung penggunaan material kayu dengan pola tertentu yang menyebabkan perpindahan panas melalui aliran udara berlangsung dengan cepat. Desain dinding berpori juga mempertimbangkan arah dan kecepatan angin di luar bangunan serta tidak adanya penghalang di dalam bangunan. Penggunaan permukaan dinding berpori yang reflektif menunjukkan kinerja terbaik dan meminimalkan kebutuhan akan insulasi [16].

Penanaman pohon di sekitar bangunan merupakan salah satu cara untuk mengendalikan suhu di dalam bangunan [17]. Kajian riset terkait taman vertikal sebagai bagian rumah tropis masa kini didasarkan pada nilai estetika dan

fungsional. Taman vertikal menghadirkan sejumlah kelebihan yaitu untuk mendinginkan ruang sekaligus sebagai tanaman produktif. Berdasarkan hasil penelitian Nugroho [18], taman vertikal dengan jenis tanaman bayam merah menghasilkan penurunan suhu maksimal sebesar 5°C sedangkan untuk tanaman sawi hijau sebesar 2°C . Tanaman bayam merah yang mempunyai warna lebih gelap memberikan pengaruh pengurangan suhu udara yang lebih besar. Tipe tanaman dengan warna daun yang lebih gelap berpengaruh terhadap peningkatan penyerapan panas matahari sehingga mampu menurunkan suhu sekitarnya. Berdasarkan konsep Arsitektur Tropis Nusantara di masa lalu dapat dirumuskan terdapat beberapa strategi dalam memproduksi ruang nyaman yaitu melalui penerapan dinding ventilasi, dinding berpori serta keterpaduan dengan tanaman atau lebih dikenal dengan istilah *bio climatic*.

3. Metode Kinerja Pendinginan Alami pada Rumah Tropis

Menurut Malama dan Sharples [19] terdapat pandangan umum bahwa arsitektur tradisional lebih tanggap iklim daripada arsitektur kontemporer. Hal ini menarik untuk dibuktikan melalui serangkaian penelitian yang terukur untuk mengetahui kinerja pendinginan alami pada arsitektur kontemporer pada iklim tropis. Kajian penelitian yang dilakukan pada musim kemarau di obyek rumah yang mewakili rumah tropis kontemporer di Kota Malang, Indonesia. Kinerja pendinginan alami rumah dinilai dengan pengukuran suhu udara dan kelembaban udara di dalam dan luar rumah. Pengukuran dilakukan pada bulan Juni dengan menggunakan alat hobo data logger yang diletakan di bagian tengah setiap ruangan dan merekam data setiap jam pada ketinggian alat 90 cm dengan paramater dan spesifikasi alat sesuai tabel 1. Pengukuran dilakukan pada ruang yang mewakili kondisi eksisting, ruang dengan aplikasi dinding ventilasi, dinding berpori dan dinding *bio climatic* secara bersamaan pada bulan Juni 2018 (gambar 2) .

Tabel 1. Paramater dan Spesifikasi Alat Pengukuran Rumah Tradisional dan Kontemporer.

Parameter pengukuran	Peralatan	Keakuratan (°C) (%)	Catatan
Suhu Udara di luar dan di dalam	Hobo data logger	± 0.1	Merekam setiap 60 menit
Kelembaban Udara di luar dan di dalam	Hobo data logger	± 1	



(a) obyek rumah

(b) dinding ventilasi

(c) dinding berpori

(d) dinding *bio climatic*

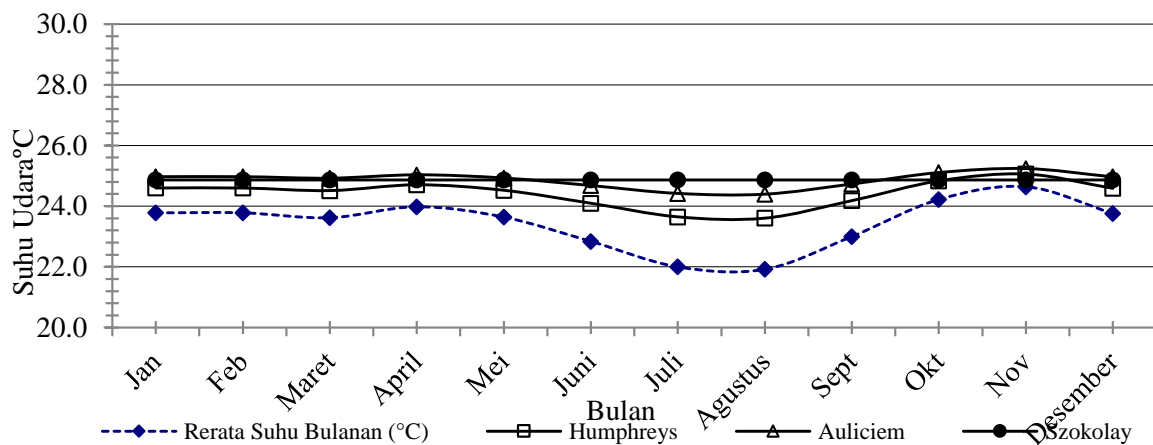
Gambar 2. Obyek penelitian Rumah Tropis Nusantara Kontemporer
 Source: Nugroho, 2018

4. Kinerja Pendinginan Alami pada Desain Dinding Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Hasil kinerja pendinginan alami pada desain rumah tropis Nusantara Kontemporer sesuai tahapan penelitian meliputi kondisi suhu netral Kota; kinerja pendinginan alami pada rumah eksisting; kinerja penurunan suhu dinding ventilasi; kinerja penurunan suhu dinding berpori; kinerja penurunan suhu dinding *bio climatic* serta perbandingan kinerja pendinginan alami.

4.1. Suhu Netral Kota Malang

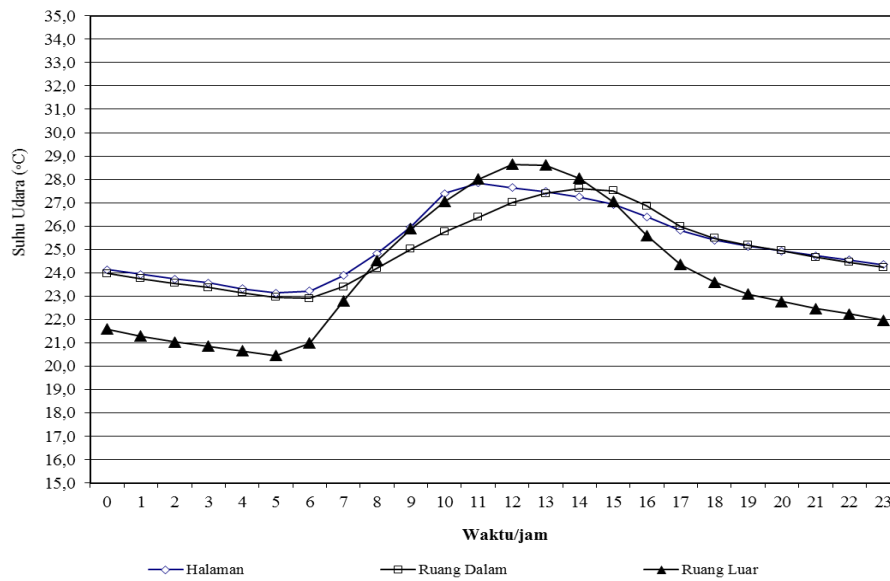
Zona nyaman dirumuskan berdasarkan persamaan Szokolay [8] dengan memasukkan data suhu udara tahunan per bulan sesuai data cuaca BMG Kota Malang. Jangkauan zona nyaman sebesar 5°C dengan rincian 2.5°C di atas dan di bawah suhu netral. Hasil perhitungan menunjukkan suhu netral Kota Malang adalah 24.9°C sehingga didapatkan batas atas zona nyaman adalah 27.4°C dan batas bawah sebesar 22.4°C . Suhu netral ini berlaku untuk kondisi tanpa pergerakan udara. Periode paling nyaman terjadi antara bulan Juli sampai Agustus, terkait dengan titik balik utara matahari. Periode paling tidak nyaman terjadi antara Oktober sampai November, yang merupakan bulan-bulan di antara ekuinoks dan titik balik selatan matahari, yang bersamaan dengan pergantian musim kemarau ke hujan serta posisi matahari tepat di atas Kota Malang (gambar 3).



Gambar 3. Suhu Netral Kota Malang
Source: Nugroho, 2018

4.2. Kinerja Pendinginan Alami pada kondisi eksisting Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

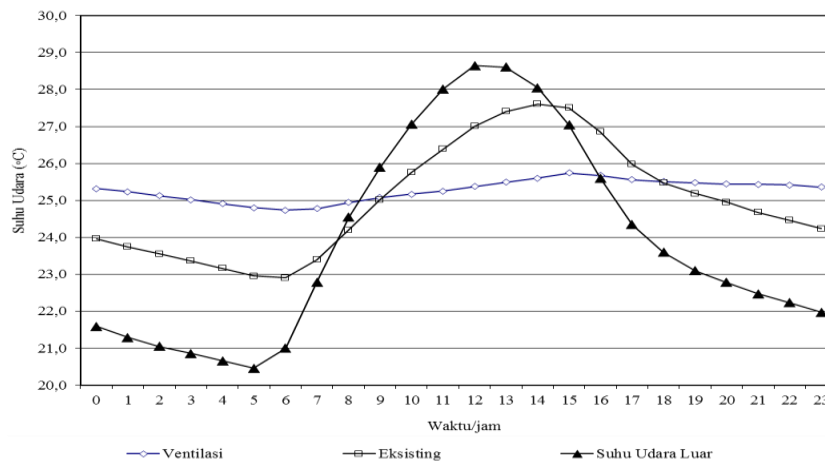
Data perjam suhu udara pada ruang eksisting dapat ditunjukkan dalam gambar 4. Suhu rerata di luar ruangan selama bulan Maret-Agustus diatas suhu netral kota Malang pada pukul 11.00 hingga pukul 15.00. Berdasarkan pengukuran di rumah eksisting dapat dilihat suhu didalam ruang dibawah suhu diluar ruang pada jam 08.00 hingga pukul 14.00. Suhu terpanas terjadi pada pukul 14.00 pada kisaran 28°C . Suhu didalam ruang terlihat lebih panas dibanding suhu di luar ruang pada sore dan malam hari. Suhu tersebut mulai meningkat pada jam 15.00 dan mencapai puncak pada tengah malam hingga pukul 07.00. Pengukuran juga menunjukkan bahwa rumah eksisting mampu menurunkan suhu di dalam ruang namun masih berada di atas suhu netral kenyamanan termal untuk daerah Malang (24.9°C) pada pukul 13.00 hingga 15.00. Berdasarkan pengukuran dapat dilihat suhu didalam ruang dibawah suhu diluar ruang pada jam 09.00 hingga jam 15.00. Penurunan suhu udara terbesar pada pukul 12.00 hingga pukul 13.00 sebesar 1.5°C . Perlu dilakukan upaya peningkatan kinerja pendinginan alami agar suhu udara dalam ruang berada di area suhu netral (22.4°C hingga 27.4°C) terutama pada pukul 13.00- 15.00 (gambar 4).



Gambar 4. Perbandingan suhu udara antara ruang dalam dan ruang luar pada obyek Rumah Tropis Nusantara Kontemporer
 Source: Nugroho, 2018

4.3. Kinerja Penurunan Suhu pada Aplikasi Dinding Ventilasi Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

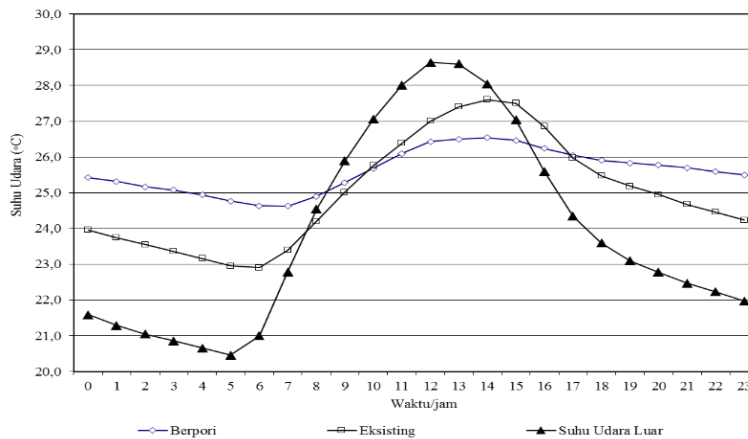
Strategi pertama adalah penerapan dinding ventilasi yang mencakup bukaan bawah, tengah dan atas pada sebuah ruang di rumah eksisting. Pengukuran dilakukan selama satu bulan yaitu di bulan Juni 2018 dengan peralatan data logger suhu dan kelembaban udara. Hasil pengukuran menunjukkan suhu udara dalam ruang berada di bawah suhu udara ruang tanpa ventilasi jendela serta suhu udara luar bangunan pada pukul 10.00 hingga pukul 15.00. Rerata suhu dalam ruang dengan aplikasi dinding ventilasi sebesar 25.3°C atau di dalam range suhu netral/nyaman Kota Malang. Kinerja rerata penurunan suhu sepanjang siang hari dari pukul 09.00 hingga pukul 15.00 dengan penerapan dinding ventilasi (2.2°C) lebih besar dibanding eksisting (0.9°C) yaitu sebesar 1.3°C. Suhu udara dalam ruang sudah berhasil masuk dalam area suhu netral (22.4°C hingga 27.4°C) sepanjang hari (gambar 5).



Gambar 5. Perbandingan suhu udara antara ruang dengan dinding ventilasi dan ruang eksisting pada Rumah Tropis Nusantara Kontemporer
 Source: Nugroho, 2018

4.4. Kinerja Penurunan Suhu pada Aplikasi Fasad Berpori Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Strategi kedua adalah penerapan dinding berpori yang mencakup penggunaan kisi pada sebuah ruang di rumah eksisting. Pengukuran juga dilakukan bersamaan dengan penerapan dinding ventilasi dengan hasil pengukuran menunjukkan suhu udara dalam ruang berada di bawah suhu udara di luar ruangan pada pukul 10.00 hingga pukul 16.00. Rerata suhu dalam ruang dengan penerapan dinding berpori sebesar 25.6°C atau di atas range suhu netral/nyaman Kota Malang meskipun masih masuk dalam area suhu netral (22.4°C hingga 27.4°C). Kinerja rerata penurunan suhu sepanjang siang hari dari pukul 09.00 hingga pukul 15.00 pada penerapan dinding berpori (1.5°C) lebih besar dibanding eksisting (0.9°C) yaitu sebesar 0.6°C (gambar 6).

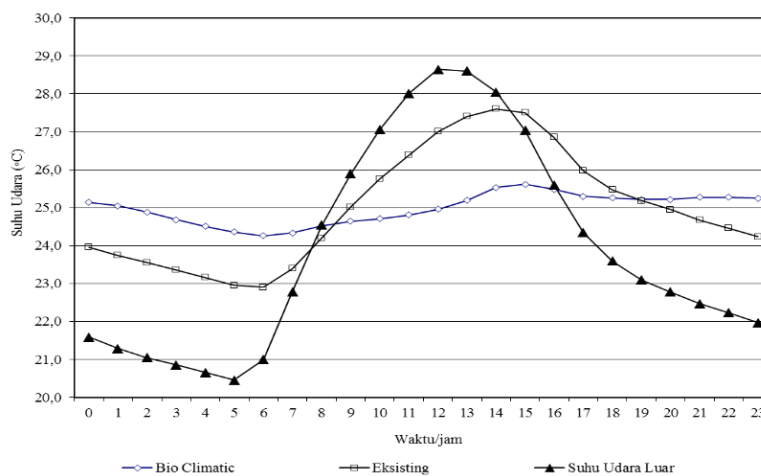


Gambar 6. Perbandingan suhu udara antara ruang dengan dinding berpori dan ruang eksisting pada Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Source: Nugroho, 2018

4.5. Kinerja Penurunan Suhu pada Aplikasi Dinding Bio Climatic Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Strategi ketiga adalah penerapan dinding *bio climatic* yang mencakup keberadaan dinding ganda yang berjarak 1.5 m dari dinding serta keberadaan kolam di antaranya pada sebuah ruang di rumah eksisting. Hasil pengukuran menunjukkan suhu udara dalam ruang berada di bawah suhu udara ruang tanpa dinding ganda *bio climatic* pada pukul 09.00 hingga pukul 18.00. Rerata suhu dalam ruang dengan penerapan dinding *bio climatic* sebesar 25°C atau di dalam range suhu netral/nyaman Kota Malang. Kinerja rerata penurunan suhu sepanjang siang hari dari pukul 09.00 hingga pukul 15.00 pada penerapan dinding *bio climatic* (2.5°C) lebih besar dibanding eksisting (0.9°C) yaitu sebesar 1.6°C (gambar 7).

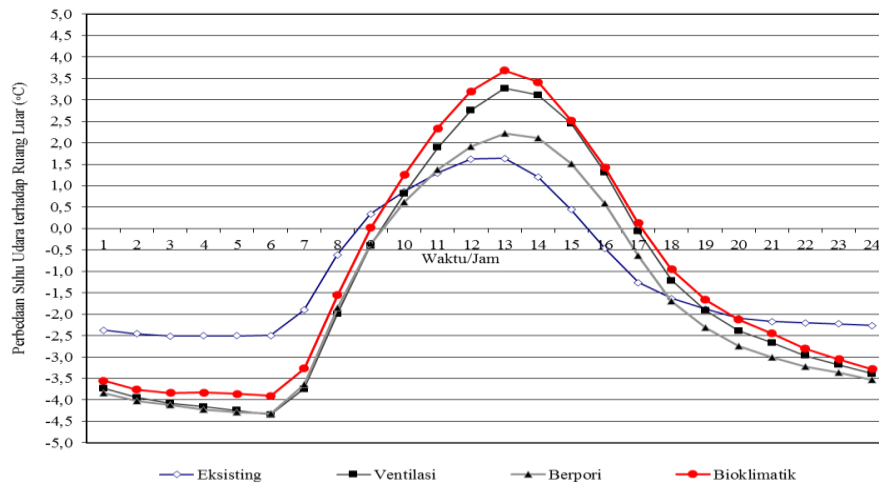


Gambar 7. Perbandingan suhu udara antara ruang dengan dinding *bio climatic* dan ruang eksisting pada Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Source: Nugroho, 2018

4.6. Perbandingan Kinerja Pendinginan Alami pada Aplikasi Dinding Rumah Tropis Nusantara Kontemporer

Perbandingan kinerja pendinginan alami dilakukan dengan pengukuran penurunan suhu udara dalam ruang secara bersamaan pada ke empat ruang yang masing-masing menerapkan ragam dinding tropis. Rerata suhu udara dalam ruang dengan penerapan masing-masing strategi menunjukkan fasad *bio climatic* mempunyai kinerja terbaik dalam menciptakan suhu dalam ruang sesuai suhu netral Kota Malang yaitu $25,2^{\circ}\text{C}$ di siang hari dan 25°C sepanjang 24 jam. Kinerja terbaik selanjutnya dicapai oleh fasad ventilasi yaitu $25,5^{\circ}\text{C}$ di siang hari serta fasad berpori sebesar $26,2^{\circ}\text{C}$ (gambar 8).



Gambar 8. Perbandingan kinerja penurunan suhu udara antara dinding ventilasi, dinding berpori dan dinding *bio climatic* pada Rumah Tropis Nusantara Kontemporer
 Source: Nugroho, 2018

Kinerja penurunan suhu udara pada aplikasi dinding tropis adalah dinding *bio climatic* ($2,5^{\circ}\text{C}$); diikuti dinding ventilasi ($2,2^{\circ}\text{C}$) dan dinding berpori ($1,5^{\circ}\text{C}$).

5. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan suhu netral di Kota Malang maka dapat diketahui suhu nyaman adalah $24,9^{\circ}\text{C}$ dengan batas kenyamanan suhu antara $22,4^{\circ}\text{C}$ sampai $27,4^{\circ}\text{C}$. Kondisi termal pada rumah eksisting menunjukkan pada siang hari suhu di dalam rumah lebih tinggi dari suhu netral sehingga diperlukan strategi pendinginan alami berbasis desain dinding Tropis Nusantara. Aplikasi dinding tropis yang dilakukan adalah dinding ventilasi, dinding berpori dan dinding *bio climatic*. Hasil penelitian menunjukkan dinding *bio climatic* mempunyai kinerja pendinginan alami paling besar yaitu mampu menurunkan suhu udara sebesar $2,5^{\circ}\text{C}$ diikuti dinding ventilasi sebesar $2,2^{\circ}\text{C}$ dan dinding berpori sebesar $1,5^{\circ}\text{C}$. Strategi pendinginan alami melalui aplikasi dinding *bio climatic*, dinding ventilasi dan dinding berpori yang didasarkan pada konsep Arsitektur Tropis Nusantara mampu memproduksi ruang nyaman sepanjang hari sehingga tidak diperlukan lagi sistem penghawaan buatan yang boros energi listrik.

Daftar Pustaka

- [1] Pangarsa, G.W. 2010. Arsitektur Kemanusiaan, Teropong Visual Eko Prawoto. Penerbit Andi Offset
- [2] Nugroho, A.M. 2013. Arsitektur Nusantara Kontemporer di- Ujung Pandang-an Sains Lingkungan Binaan. Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia, Universitas Hasanuddin, Makassar
- [3] Nugroho, A. M. 2014. Sains Arsitektur Nusantara Kontemporer. Seminar Arsitektur Merah Putih, Universitas Kristen Duta Wacana Jogjakarta
- [4] Nugroho, A. M. 2018. Arsitektur Tropis Nusantara Rumah Tropis Nusantara Kontemporer. Penerbit UB Press
- [5] Karyono, T. K. 2000. Mendefinisikan Kembali Arsitektur Tropis di Indonesia. Desain Arsitektur. vol. 1, April, 2000, pp.7-8.
- [6] Ahmed, A. 2004. Analysis of human Thermal Comfort using a coupled Model for Predicting Human Body Environment Heat and Mass Exchange. 36th AIAA Thermophysics Conference

- [7] Givoni, B. 1998. Effectiveness of Mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures. Part I: 1993 experimental periods. *Energy and Buildings*. 28(1):25–32
- [8] Szokolay, S.V. 1998. *Thermal Comfort in Warm-Humid Tropics*. Passive and Low Energy Architecture International (PLEA). Brisbane: University of Queensland.
- [9] Hamdan, M. and Nugroho, A. M. 2005. Towards Development of Tropical Solar Architecture: The Use of Solar Chimney as Stack Induced Ventilation Strategy. Proceeding World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition, Jakarta
- [10] Rajeh, M. 1989. Natural Ventilation in Terrace Housing of Malaysia : Effect of Air Well on Air Flow and Air Velocity. University of Queensland, Master Thesis
- [11] Abdul Malek, A. S. and Young, A. 1993. Thermal Comfort Study as an Aid to Determine Energy Savings in Building in Malaysia. *ENERGEX-The 5th International Energy Conference*, Seoul, Korea, 18-22 October.
- [12] Abdul Rahman, S. and Kannan, K.S. 1997. A Study of Thermal Comfort in Naturally Ventilated Classrooms: Toward New Indoor Temperature Standards. *Proceedings of the Asia – Pasific Conference on the Built Environment: Integrating Technology with Environment*. 3-6 November.
- [13] Sopian, A.R. 2004. Possibilities of using Void to Improve Natural Cross Ventilation in High-rise Low Cost Residential Building, Thesis.
- [14] Garde, F. 2004. Implementation and experimental survey of passive design specifications used in new low-cost housing under tropical climates. *Energy and Buildings* 36 (2004) 353–366, Elsevier
- [15] Prianto, E. Houpert, P. Depecker, J.P. Peneau. 2001. Contribution of Numerical Simulation with SOLENE to Find Out the Traditional Architecture Type of Cayenne, Guyana, France. *International Journal on Architecture Science*, Hong Kong 1 (4) 156 – 180.
- [16] Tenorio, R.M.S. 2002. Dual-mode cooling house in the warm-humid tropics. PhD Thesis, School of Geography, Planning and Architecture, The University of Queensland.
- [17] Gut, P. Ackerknecht, D. 1993. *Climate Responsive Building Appropriate Building Construction in Tropical and Subtropical Regions*, SKAT.
- [18] Nugroho, A.M. 2014. Sustainable Contemporary Nusantara Architecture. *International Conference of Green Architecture for Better Future*, University Malikussaleh, Aceh.
- [19] Malama, A. and Sharples, S. 1996. Thermal and economic implications of passive cooling strategies in lowcost housing in tropical upland climates. *Architecture Science Review*. 1996, 39, 25-35.