

Kinerja Pendinginan Alami pada Arsitektur Tradisional Jawa: Studi Kasus Rumah Joglo Puhti, Ngawi, Jawa Timur

Agung Murti Nugroho

Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Phone: 081233901974

Email: agungmurti@ub.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Abstract: Architecture is faced with challenges related to the issue of energy crisis and building comfort through the development of passive or natural design solutions. Traditional architecture embodies design principles that optimize natural systems to create a comfortable living environment. This needs to be proven through the study of passive design for the thermal environment in traditional architecture, particularly in Joglo buildings. This paper aims to improve the performance of passive cooling in Javanese Traditional Houses through visual observation and field measurement methods. Passive cooling performance is limited to visually appropriate building elements, air temperature measurement results that fall within the comfortable temperature range, and the magnitude of the air temperature reduction in the building. Visual observation methods are employed to determine passive cooling design parameters, while field measurements assess comfort conditions and the reduction in air temperature. The Data Logger RC 4H was used to measure air temperature and humidity for a period of seventeen days. The research object is the Joglo Puhti House in Karangjati, Ngawi, East Java, Indonesia. Based on the visual observation method, the results revealed that orientation, roof volume, and porous walls were the main passive cooling elements. There are two main results of passive cooling performance: first, the average air temperature (27.5°C) in the building is within the comfortable temperature range; second, the air temperature reduction in the building during the day reaches 3.3°C.

Keywords: Joglo house; passive design, passive cooling; comfortable temperature, air temperature reduction

Abstrak: Arsitektur dihadapkan pada tantangan terkait permasalahan krisis energi dan kenyamanan bangunan melalui pengembangan solusi desain pasif atau alami. Arsitektur tradisional memuat prinsip desain yang mengoptimalkan sistem alami untuk terciptanya kenyamanan berhuni. Hal ini perlu dibuktikan melalui kajian desain alami untuk lingkungan termal pada arsitektur tradisional khususnya pada bangunan Joglo. Makalah ini bertujuan mengevaluasi kinerja pendinginan alami pada Rumah Tradisional Jawa melalui teknik observasi dan pengukuran lapangan. Kinerja pendinginan alami dibatasi pada aspek elemen bangunan yang sesuai secara visual serta hasil pengukuran suhu udara yang termasuk dalam batas suhu nyaman berikut besarnya penurunan suhu udara dalam bangunan. Metode visual digunakan untuk mengetahui kesesuaian parameter desain pendinginan alami, sedangkan pengukuran lapangan dilakukan untuk menilai kondisi kenyamanan dan penurunan suhu udara. Obyek penelitian adalah Rumah Joglo Puhti di Karangjati, Ngawi, Jawa Timur. Alat pengukuran suhu dan kelembapan udara yang digunakan adalah Data Logger RC 4H dengan lama pengukuran selama tujuh belas hari. Hasil penelitian menunjukkan elemen utama pendinginan alami berdasarkan teknik observasi visual adalah orientasi, volume atap serta dinding berpori. Hasil kinerja pendinginan alami mencakup dua hal, yaitu: pertama, rerata suhu udara (27,5°C) dalam bangunan masuk dalam batas suhu nyaman; kedua, tingkat penurunan suhu udara dalam bangunan pada waktu siang hari mencapai 3,3°C.

Kata Kunci: rumah joglo; desain pasif; pendinginan alami; suhu nyaman; penurunan suhu udara

Article history:

Received; 2021-07-27

Revised; 2021-12-30

Accepted; 2022-02-14

PENDAHULUAN

Pembangunan sektor bangunan terutama perumahan merupakan konsekuensi yang logis pertambahan jumlah penduduk dan kebutuhan akan tempat tinggal. Sektor bangunan mempunyai hubungan yang erat dengan permasalahan krisis energi dan kerusakan lingkungan. Lebih dari empatpuluh persen konsumsi energi dunia digunakan untuk sektor bangunan. Kerusakan lingkungan terjadi manakala industri perumahan meninggalkan pemanfaatan material alami setempat dan prinsip desain pasif yang diwariskan melalui tradisi membangun rumah di masa lalu. Tradisi penerapan desain pasif pada rumah vernakular yang terus di jaga secara turun temurun yang dikenal dengan istilah rumah tradisional. Pengetahuan desain pasif bertujuan untuk memberi kenyamanan tinggal sesuai kondisi dan ketersediaan sumber daya alamnya.

Prinsip dasar desain pasif di daerah tropis lembap seperti di Indonesia adalah: peneduhan, pendinginan, pengawalembapan dan penyejukan alami (Nugroho, 2019:6). Peneduhan alami merupakan pengaturan radiasi panas matahari yang mengenai bangunan melalui orientasi, bentuk atap dan material selubung. Pendinginan alami adalah pengaturan masuknya panas dari luar bangunan serta pembuangan panas dari dalam bangunan melalui ketebalan, jenis dan material dinding. Pengawalembapan berhubungan dengan penyediaan kondisi kelembapan udara yang nyaman melalui pengaturan ketinggian lantai untuk mencegah terkumpulnya udara lembap di bagian bawah ruangan. Penyejukan terkait dengan penyediaan aliran dan kecepatan angin untuk mencapai kondisi optimal antara suhu dan kelembapan udara melalui ukuran, posisi dan tipe bukaan jendela seiring ketepatan arah sisi bangunan yang menghadap arah angin setempat.

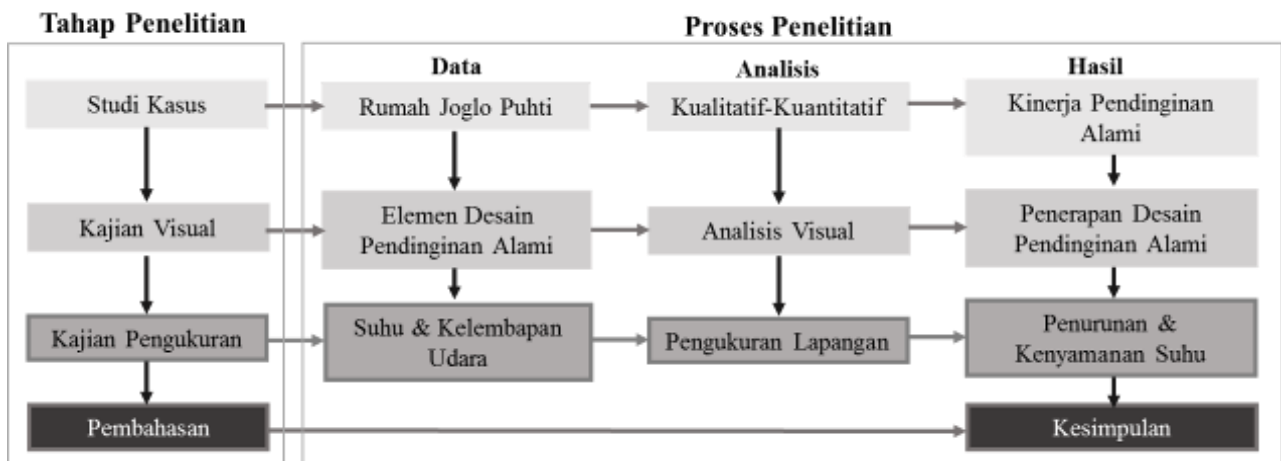
Secara khusus, pendinginan alami adalah upaya untuk mendapatkan optimalisasi suhu dan kelembapan udara yang nyaman melalui teknik pemanfaatan energi alami yang dapat mengurangi penggunaan sistem buatan (Kindangen, 2017:7). Lebih jauh Kindangen (2017:8) menyatakan bahwa prinsip utama pendinginan alami adalah pencegahan panas masuk dalam bangunan serta pembuangan panas sehingga nyaman suhu udara tercapai. Tujuan teknik pendinginan alami adalah tercapainya kondisi suhu waktu di siang hari dalam bangunan yang lebih rendah dari suhu udara di luar bangunan. Aspek lain adalah terjaganya kestabilan suhu udara dalam rumah sesuai batas suhu nyaman di sepanjang waktu, baik siang maupun malam hari. Strategi utama desain pendinginan alami adalah untuk menghilangkan atau mengurangi sumber panas eksternal yang berasal dari lingkungan luar dengan penerapan desain sesuai parameter pendinginan alami. Elemen dan parameter pendinginan alami berdasarkan hasil penelitian terdahulu dapat dirumuskan sebagai berikut: pertama, elemen orientasi bangunan dengan sisi dinding terluas terlindung dari arah datang sinar matahari dan menghadap arah angin (Mediastika, 2013:186). Kedua, selubung atap dengan parameter volume besar dan teritisannya lebar serta warnanya cerah (Garde, 2004:360). Ketiga, selubung dinding yang mempunyai pembayang (Garde, 2004:361), berwarna cerah dan konduktifitas rendah (Nugroho, 2019:29). Keempat, bukaan jendela mempunyai ukuran, posisi, tipe yang sesuai dengan luasan lantai dan arah angin serta mempunyai teritisasi (Nugroho, 2019:30). Kelima, lantai bangunan yang mempunyai ketinggian atau dapat berupa panggung (Victoria dkk, 2017:6). Keenam, tata lingkungan luar yang memuat keberadaan tanaman peneduh matahari, pengarah angin dan material permukaan (Nugroho, 2018:107).

Elemen dan kriteria desain pendinginan alami terus berkembang seiring kajian-kajian tentang arsitektur di masa lalu yang sudah teruji dalam kurun waktu yang lama, salah satunya adalah rumah tradisional. Kajian desain pendinginan alami pada rumah tradisional melalui pendekatan kualitatif dan kuantitatif memberi pemahaman menyeluruh terkait keunggulan maupun keterbatasan kinerja kenyamanan tinggal. Rumah Tradisional Jawa berdasarkan jenis atapnya terbagi atas rumah Joglo, rumah Kampung dan rumah Limasan. Ragam bentuk rumah Joglo di Pulau Jawa terdapat di setiap kabupaten yang dipengaruhi oleh adaptasi terhadap lingkungan alam dan budaya. Beberapa variasi rumah Joglo, khususnya di Jawa Timur adalah Joglo Cebukan, Joglo Kepuhan Limasan dan Jempongan. Joglo Cebukan memiliki bagian tengah atap yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi yang lain. Salah

satu tipe Rumah Joglo Cebukan yang masih ada berada di Desa Puhti, Kecamatan Karangjati, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur atau disebut Rumah Joglo Puhti. Lingkungan dan bangunan rumah tinggal di sekitar Rumah Joglo Puhti masih asli. Karakter bentuk atap yang menonjol serta keaslian bangunan Joglo Puhti menjadi alasan utama dilakukan kajian kinerja pendinginan alami dengan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Kebaruan temuan kajian ini adalah pada obyek serta penggunaan perpaduan teknik visual dan pengukuran lingkungan termal. Kajian terkait obyek rumah Joglo belum banyak dilakukan sedangkan perpaduan teknik visual dan pengukuran berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Nugrahaeni dan Suwantara (2012), Suwantara dkk (2012), Damayanti dan Suwantara (2017) dan Prasetyo dan Astuti (2017) yang terfokus pada teknik pengukuran lapangan pada obyek rumah tradisional Uma Kbbubu, Sao Pu’u, Raja Thie-Limbale dan Lontiok.

METODE PENELITIAN

Tahap penelitian memuat dua tahapan utama yaitu: pertama, kajian visual elemen desain pendinginan alami dan kedua, kajian pengukuran kinerja pendinginan alami. Penilaian visual secara kualitatif untuk menjawab tingkat penerapan elemen pendinginan alami pada studi kasus Rumah Joglo Puhti. Sedangkan pengukuran kinerja pendinginan alami suhu udara untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan dan penurunan suhu udara selama waktu kajian. Korelasi dan ketepatan penggunaan teknik visual dan pengukuran sesuai tahapan penelitian adalah amatan terhadap keterkaitan hasil elemen visual berdasarkan tingkat kesesuaian kriteria desain pendinginan alami dengan kinerja elemen bangunan terhadap tingkat penurunan suhu udara pada obyek Rumah Joglo Puhti. Sehingga temuan pada setiap tahapan penelitian akan secara tepat menjelaskan keterhubungan hasil temuan visual dan pengukuran lapangan.



Gambar 1. Tahapan penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Puhti, Kecamatan Karangjati, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Rumah Joglo Puhti menurut penduduk setempat merupakan Joglo terbesar di Kecamatan Karangjati. Lokasi Rumah Joglo Puhti berada pada posisi 7°29'01" lintang Selatan dan 111°35'51" bujur Timur. Kondisi iklim dipengaruhi oleh iklim tropis dengan rerata suhu sebesar 20°–34°C dan kelembapan udara sebesar 68–85%. Wilayah Kabupaten Ngawi beriklim tropis muson yang ditandai dengan adanya musim kemarau dan musim penghujan. Musim kemarau berlangsung pada bulan Mei hingga Oktober sedangkan musim penghujan terjadi pada bulan November hingga April.

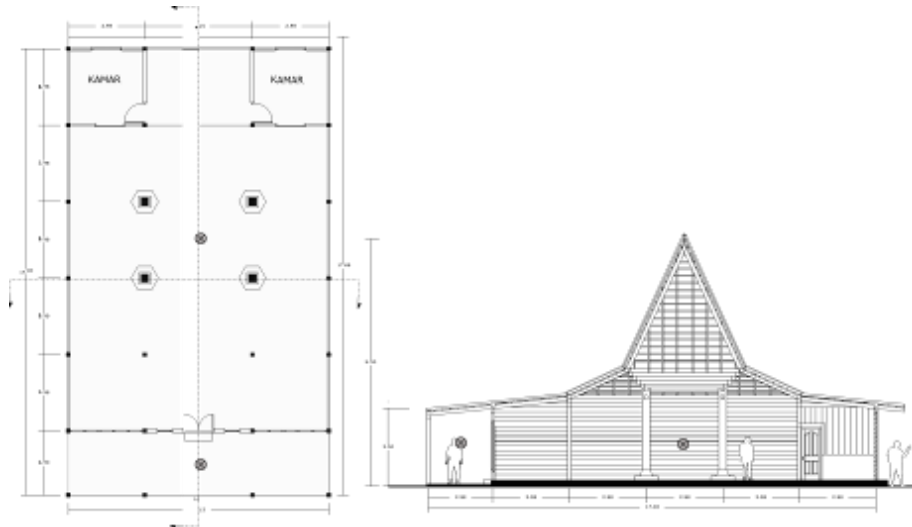


Gambar 2. Lokasi penelitian di Desa Puhti Kecamatan Karangjati Kabupaten Ngawi



Gambar 3. Rumah Joglo Puhti sebagai obyek penelitian

Obyek rumah Joglo Puhti menonjol diantara rumah di sekitarnya dengan bentuk atap yang besar, denah bangunan cenderung kotak, terdapat teritisan pada bagian depan serta terdapat dua jendela besar di dinding bagian depan. Rumah ini masih digunakan sebagai tempat tinggal seorang ibu dan dua anaknya dengan pembagian ruang dalam bangunan terdiri atas dua kamar tidur serta satu ruang bersama. Data visual mencakup gambar denah, tampak, potongan dan foto bangunan. Analisis visual dilakukan dengan mendeskripsikan penerapan parameter desain pendinginan alami pada obyek seperti, orientasi, selubung atap, dinding, lantai dan tata lingkungan luar. Data pengukuran adalah suhu dan kelembapan udara pada dua titik di dalam dan luar rumah dengan menggunakan alat Hobo Data Logger. Posisi alat berada di ketinggian 1,5 meter dan berada di bagian tengah ruang utama serta di area teras rumah seperti pada gambar 4. Perekaman data dilakukan setiap 15 menit mulai tanggal 6 Mei hingga 23 Mei 2018. Analisis kinerja pendinginan alami dengan menghitung rerata suhu udara setiap jam selama waktu pengukuran, nilai maksimal dan minimal dan nilai penurunan suhu udara luar dan dalam. Analisis dilakukan secara deskriptif dan evaluatif terhadap standar kenyamanan. Pada bagian pembahasan dilakukan diskusi antara hasil analisis visual dan analisis kinerja pendinginan alami serta perbandingan dengan hasil penelitian terdahulu.



Gambar 4. Posisi perletakan Alat Hobo Data Logger

HASIL DAN PEMBAHASAN

Elemen desain pasif pada Rumah Joglo Puhti

Rumah Joglo Puhti merupakan Rumah Tradisional Jawa dengan usia lebih dari 100 tahun dengan luas lantai 180 m² dengan ukuran 18 x 10 meter. Atap berbentuk joglo dengan kemiringan 15°, 30° dan 45° serta menggunakan material genteng tanah liat. Dinding rumah setinggi 3 meter dengan material papan kayu berketebalan 3 cm disusun secara vertikal. Terdapat dua bukaan jendela pada dinding bagian depan serta lantai bangunan masih berupa tanah. Bangunan sekitarnya terletak berjajar dengan jarak 1-2 meter yang masing-masing mempunyai halaman yang luas di bagian depan rumah. Bagian belakang rumah umumnya merupakan kandang dan kamar mandi yang terpisah dari rumah. Hasil analisis visual berdasarkan parameter orientasi, atap, dinding, bukaan jendela, lantai dan lingkungan sekitar yang sesuai dengan tabel 1.

Orientasi bangunan sebagai elemen desain pendinginan alami pada Rumah Joglo Puhti ditunjukkan dengan sisi memanjang bangunan yang menghadap barat dan timur sehingga masa bangunan membujur utara-selatan. Berdasarkan parameter desain pendinginan alami, sisi memanjang bangunan yang paling baik adalah menghadap utara dan selatan agar tidak terkena paparan radiasi matahari langsung. Pada studi kasus ini sisi yang menghadap barat dan timur terlindungi oleh rumah di sebelahnya karena jarak antar bangunan cukup rapat. Sehingga secara parameter orientasi belum sesuai namun secara prinsip penanggulangan radiasi matahari telah tercapai. Orientasi bangunan juga dinilai dari sisi hadap ke arah angin sekitar. Pada Rumah Joglo Puhti sisi terpanjang menghadap arah angin utama yaitu barat dan timur. Namun demikian perletakan bukaan jendela ada di sisi dinding selatan serta pada sisi barat dan timur terhalang bangunan tetangga. Sehingga secara orientasi sudah sesuai tetapi karena posisi bangunan dan bukaan jendela yang ada mengakibatkan aliran udara tidak leluasa masuk dalam bangunan.

Parameter selanjutnya adalah selubung atap dengan volume yang besar, teritisan yang lebar dan warna yang cerah. Atap Rumah Joglo Puhti merupakan yang terbesar di banding rumah di sekitar. Volume atap lebih dari separuh volume ruang hunian. Ketinggian atap mencapai 6 meter atau dua kali ketinggian dinding (3 meter). Kemiringan atap terdiri atas tiga jenis yaitu 15°, 30° dan 45°. Pada dinding utara dan selatan bangunan juga terdapat teras selebar 2,5 meter sehingga menambah area peneduhan atap. Warna atap bangunan ini cenderung gelap serta tanpa ada langit-langit sehingga menyerap panas lebih besar dibanding genteng yang berwarna cerah. Atap tanpa langit-langit juga memungkinkan panas yang terkumpul di bawah atap turun ke ruang di bawahnya.

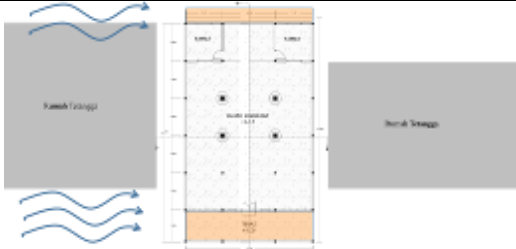
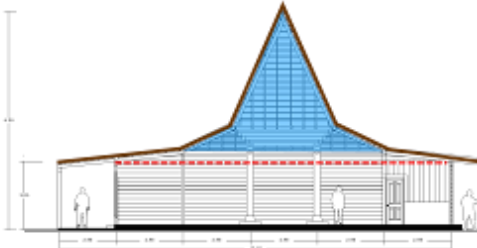
Selubung dinding bangunan memuat tiga parameter pendinginan alami yaitu: adanya elemen peneduh berupa teritisan, berwarna cerah dan konduktifitas material yang rendah.

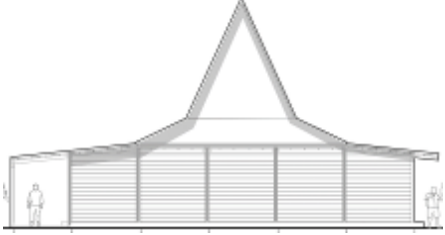

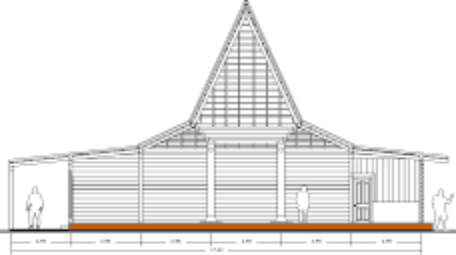

Dinding Rumah Joglo Puhti pada sisi barat dan timur di bayangi oleh rumah di sampingnya sedangkan sisi utara dan selatan terdapat elemen peneduh. Warna dinding bangunan ini di cat putih dengan material papan kayu yang mempunyai konduktifitas rendah. Tipe dinding mempunyai celah di bagian bawah dan atas serta terdapat rongga di antara susunan papan secara vertikal. Terdapatnya celah antar papan membantu adanya aliran udara untuk membuang panas yang cepat diserap dan dilepas oleh sifat material kayu.

Bukaan jendela merupakan elemen penting dalam pendinginan alami melalui aliran udara yang membuang panas dari dalam bangunan. Parameter desain pendinginan alami pada bukaan jendela salah satunya adalah ukurannya. Dengan luas lantai mencapai 180 m² maka diperlukan bukaan jendela 10-20% dari luasan lantai atau minimal sekitar 18 m². Bukaan jendela pada Rumah Joglo Puhti berjumlah dua buah dengan luasan total 6 m². Sehingga masih belum sesuai dengan parameter. Parameter desain pendinginan alami untuk elemen bukaan jendela adalah adanya elemen peneduh di atas jendela untuk melindungi masuknya radiasi panas matahari. Pada bangunan ini, bukaan jendela yang terletak di area teras sudah cukup terteduhi oleh atap teras yang ada.

Lantai Rumah Joglo Puhti ini mempunyai ketinggian 15 cm dari halaman dengan material berupa tanah. Berdasarkan aspek peninggian lantai sudah memenuhi parameter pendinginan alami khususnya untuk menanggulangi tingginya kelembapan udara. Namun demikian berdasarkan jenis material yang masih menggunakan tanah maka permasalahan kelembapan udara tetap terjadi. Parameter terakhir desain pendinginan alami adalah tata lingkungan luar yang mencakup keberadaan dan penempatan tanaman peneduh serta karakter permukaan halaman. Pada obyek rumah Joglo Puhti tidak terdapat tanaman peneduh di sekeliling bangunan serta karakter permukaan halaman yang tandus menyebabkan kondisi lingkungan termal di siang hari cenderung panas. Berdasarkan analisis di atas maka elemen bangunan Rumah Joglo Puhti yang sesuai dengan parameter desain pendinginan alami meliputi elemen volume atap yang besar, teritisan yang lebar, dinding berwarna cerah dengan konduktifitas material rendah serta peninggian lantai. Elemen yang tidak sesuai dengan desain pendinginan alami adalah warna atap yang gelap, bukaan jendela yang minim, material lantai serta tidak adanya tanaman peneduh. Terdapat elemen pada Rumah Joglo Puhti yang terkait dengan desain pendinginan alami dan mendukung kinerja penurunan suhu yaitu: masa yang ramping dengan lebar bangunan kurang dari 10 meter dengan proporsi masa bangunan 1:1,7 sertanya minimnya pembatas ruang.

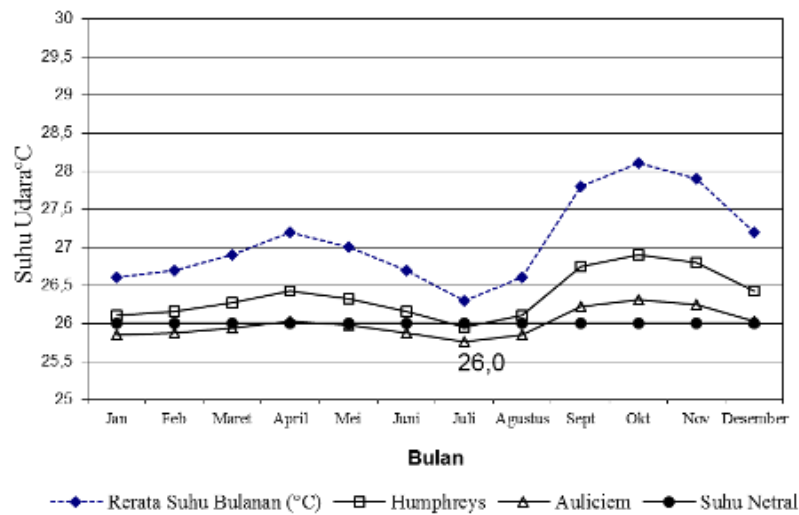
Tabel 1. Penilaian Visual Parameter Desain Pendinginan alami Rumah Joglo Puhti

No	Elemen Desain	Parameter pendinginan alami	Hasil Visual
1	Orientasi Bangunan	Sisi dinding terluas terlindung dari arah datang sinar matahari. Sisi selatan terdapat teras. Sisi dinding terluas menghadap arah angin.	 <p>Sesuai</p>
2	Selubung atap	Atap dengan volume dan teritisan yang besar Warna atap yang cerah serta terdapat langit-langit penahan panas	 <p>Volume atap sesuai namun warna tidak sesuai</p>

No	Elemen Desain	Parameter pendinginan alami	Hasil Visual
3	Selubung dinding	Dinding mempunyai pembayang, warna yang cerah untuk pemantulan radiasi matahari Dinding berpori membantu membuang panas yang diserap dan dilepaskan oleh bahan bangunan	 Warna dan tipe dinding sesuai
4	Bukaan jendela	Bukaan jendela mempunyai ukuran, posisi yang sesuai dengan luas lantai dan arah angin Bukaan Jendela mempunyai peneduh	 Ukuran jendela tidak sesuai, peneduh jendela sesuai
5	Lantai bangunan	Perbedaan ketinggian lantai seperti panggung untuk mengurangi kelembapan dengan material penyerap kelembapan	 Peninggian lantai sesuai, tetapi material tidak sesuai
6	Tata Lingkungan luar	Penempatan tanaman untuk pembayangan Penataan tanaman pengarah aliran udara	 Penempatan & penataan tanaman tidak sesuai

Kondisi suhu dan kelembapan udara pada rumah Joglo Puhti

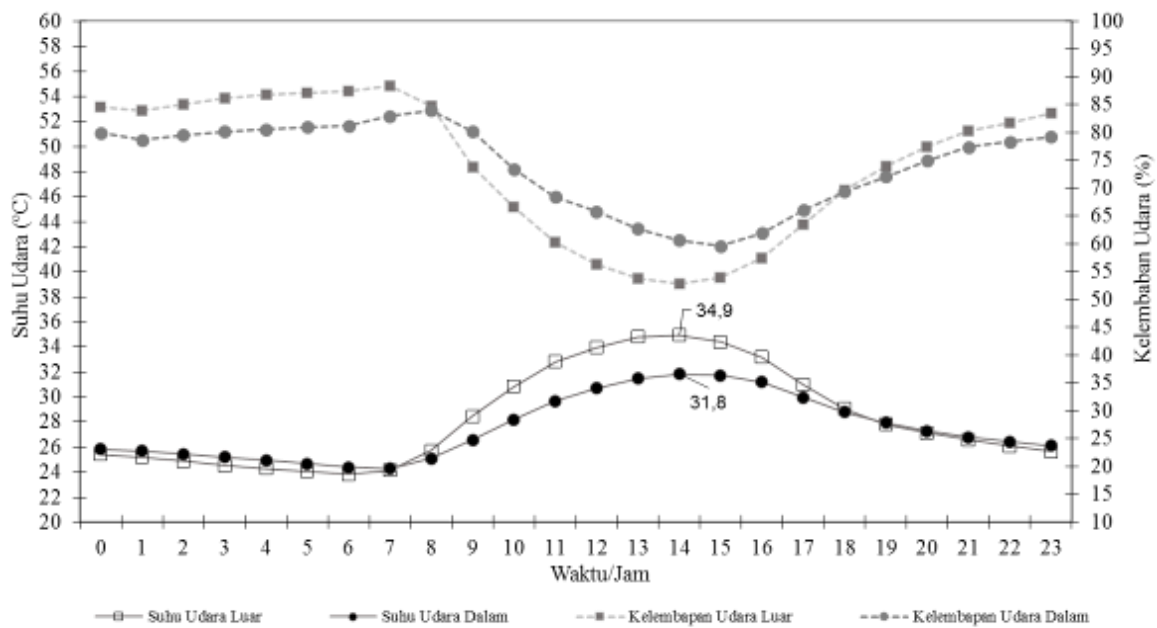
Suhu netral sebagai acuan batas suhu nyaman daerah setempat dihitung berdasarkan rerata suhu udara bulanan selama beberapa tahun terakhir. Penggunaan data iklim menggunakan data bersumber dari Climate-Data.org. yang terdapat situs resmi Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. Berdasarkan persamaan Humphreys dan Auliciem (Nugroho, 2019:44) maka diperoleh suhu netral sebesar 26°C berdasarkan rumus $17,6 + (0,31 \times \text{suhu rerata bulanan})$. Rentang suhu nyaman sebesar 5°C , yaitu $2,5^{\circ}\text{C}$ ke atas dan ke bawah, sehingga batas suhu nyaman adalah $23,5^{\circ}\text{C}$ - $28,5^{\circ}\text{C}$ seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Suhu Netral Kabupaten Ngawi sebagai acuan suhu nyaman obyek studi

Rerata suhu udara ruang luar pada Rumah Joglo Puhti sebesar $28,3^{\circ}\text{C}$ dengan suhu udara maksimal terdapat pada pukul 14.00 yang menunjukkan angka $34,9^{\circ}\text{C}$ dan suhu udara minimal sebesar $23,8^{\circ}\text{C}$ pada pukul 06.00. Selisih suhu udara luar maksimal dan minimal sebesar $11,1^{\circ}\text{C}$. Rerata kelembapan udara ruang luar adalah $74,1\%$ dengan nilai maksimal sebesar $88,4\%$ pada pukul 07.00 dan nilai minimal sebesar $52,9\%$ pada pukul 14.00. Angka kelembapan ini di luar batas kelembapan udara yang sehat yaitu antara 40% hingga 60% . Batas kelembapan udara pada ruang luar yang sehat terjadi pada rentang waktu pukul 11.00 hingga 16.00 dengan nilai rerata $55,8\%$.

Pada rumah Joglo Puhti, rerata suhu udara selama satu bulan pengukuran sebesar $27,5^{\circ}\text{C}$ dengan suhu udara tertinggi dan terendah masing-masing sebesar $31,8^{\circ}\text{C}$ dan $24,3^{\circ}\text{C}$. Suhu udara puncak berlangsung pada pukul 14.00 sedangkan suhu udara terendah terjadi pada jam 07.00. Rentang suhu udara maksimal dan minimal sebesar $7,5^{\circ}\text{C}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa selisih suhu udara tidak terlalu besar antara malam dan siang hari. Kelembapan udara di dalam rumah mempunyai rerata sama dengan ruang luar yaitu $74,1\%$. Kelembapan udara tertinggi tercatat sebesar 84% dan terendah $59,6\%$, masing-masing pada pukul 08.00 dan 15.00. Kondisi kelembapan udara maksimal dan minimal dalam rumah menunjukkan terjadi perbedaan waktu lebih lambat satu jam dibanding kondisi serupa untuk kelembapan udara di luar bangunan. Demikian halnya keterkaitan antara kelembapan udara dan suhu udara maksimal-minimal menunjukkan selisih waktu selama satu jam. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lantai bangunan yang lebih lambat dalam menerima panas yang menyebabkan peningkatan penguapan menjadi tertunda.



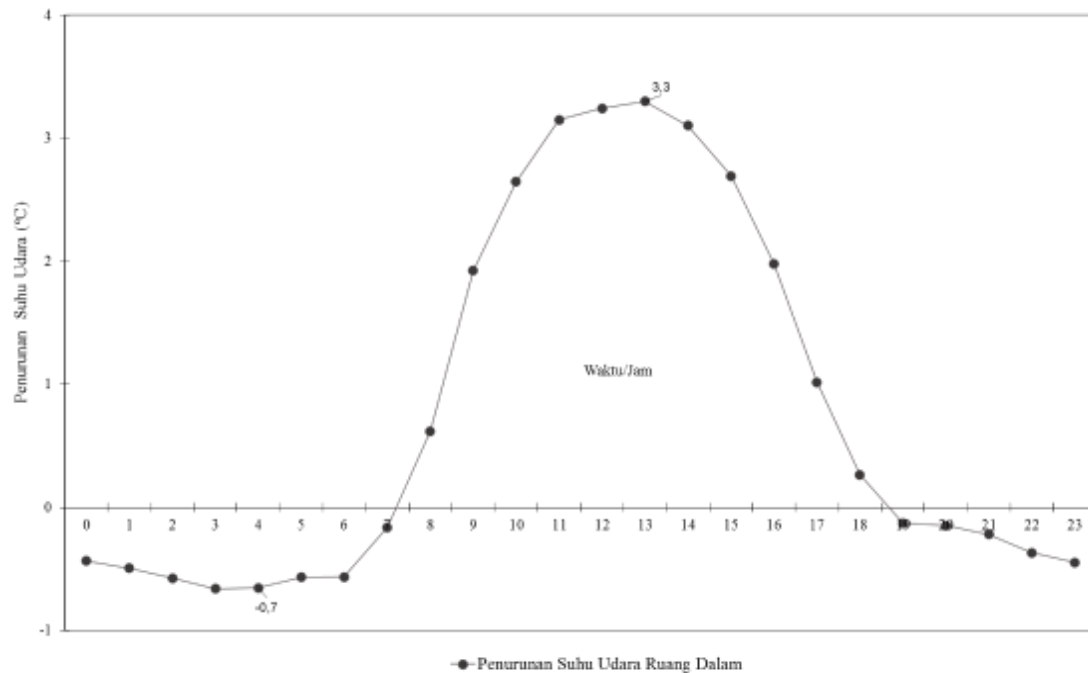
Gambar 6. Perbandingan suhu dan kelembapan udara di dalam dan luar Rumah Joglo Puhti

Rentang suhu udara nyaman berdasarkan suhu netral sebesar 5°C adalah atau antara $23,5^{\circ}\text{C}$ - $28,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan menurut Nguyen dkk (2019:544), standar suhu nyaman untuk rumah vernakular mempunyai rentang suhu udara nyaman yang lebih besar yaitu 6°C . Rerata suhu udara luar Rumah Joglo Puhti berada pada batas nyaman baik menurut suhu netral maupun suhu nyaman pada rumah vernakular di Asia Tenggara. Namun demikian, hal tersebut tidak terjadi sepanjang waktu karena terdapat perbedaan suhu maksimal dan minimal yang cukup besar ($11,1^{\circ}\text{C}$). Perbedaan suhu yang besar antara siang dan malam menunjukkan kondisi iklim lingkungan luar yang cukup ekstrem dan terdapat waktu tertentu di luar batas suhu nyaman. Suhu udara luar yang melewati rentang suhu udara nyaman berlangsung dari jam 10.00 hingga 18.00 atau cenderung berlangsung di siang hari dengan rerata suhu udara tidak nyaman sebesar $32,8^{\circ}\text{C}$. Sedangkan rerata suhu udara nyaman yang terjadi dari pukul 18.00 hingga 10.00 atau di malam hari sebesar $25,6^{\circ}\text{C}$. Kondisi rerata suhu udara luar ini menjadi dasar kinerja pendinginan alami pada Rumah Joglo Puhti agar tercapai kondisi dalam bangunan yang lebih baik.

Kondisi suhu udara nyaman dalam Rumah Joglo Puhti ditunjukkan melalui nilai rerata suhu udara dalam bangunan, selisih suhu udara maksimal dan minimal serta rentang waktu nyaman. Rerata suhu udara dalam rumah sebesar $27,5^{\circ}\text{C}$ atau lebih rendah $0,8^{\circ}\text{C}$ daripada rerata suhu udara luar. Selisih suhu udara maksimal dan minimal ($7,5^{\circ}\text{C}$) juga lebih rendah dibanding selisih suhu udara maksimal-minimal ruang luar ($11,1^{\circ}\text{C}$), yaitu sebesar $3,6^{\circ}\text{C}$. Kedua hal tersebut menjadi indikator bahwa rerata suhu udara dalam bangunan lebih stabil daripada suhu udara luar. Rerata suhu. Rentang waktu suhu udara nyaman di dalam bangunan adalah selama 17 jam atau $70,8\%$ terutama di sore, malam dan pagi hari. Waktu tidak nyaman terjadi pada pukul 11.00 hingga 18.00 atau satu jam lebih sedikit dibanding waktu tidak nyaman ruang luar. Perbedaan rerata suhu udara selama rentang nyaman antara ruang dalam ($26,1^{\circ}\text{C}$) dan ruang luar bangunan ($25,6^{\circ}\text{C}$) adalah $0,5^{\circ}\text{C}$ serta untuk suhu tidak nyaman sebesar $1,7^{\circ}\text{C}$ (selisih antara $32,8^{\circ}\text{C}$ dan $30,9^{\circ}\text{C}$). Berdasarkan hasil tersebut kondisi suhu udara dalam Rumah Joglo Puhti mempunyai rerata suhu udara nyaman, rentang suhu udara maksimal-minimal dan rentang waktu nyaman yang lebih baik dibanding lingkungan luar dengan selisih masing-masing $0,8^{\circ}\text{C}$, $3,6^{\circ}\text{C}$ dan 1 jam.

Kinerja penurunan suhu udara pada Rumah Joglo Puhti

Kinerja penurunan suhu udara pada Rumah Joglo Puhti didapatkan dengan menampilkan data selisih suhu udara ruang luar dan ruang dalam pada setiap jam pengukuran selama waktu pengukuran. Rerata penurunan suhu udara pada ruang dalam sebesar $0,8^{\circ}\text{C}$ dengan penurunan maksimal terdapat sekitar pukul 13.00 yaitu sebesar $3,3^{\circ}\text{C}$. Peningkatan suhu udara atau penghangatan udara maksimal dalam ruang antara jam 03.00 hingga jam 04.00 dengan rerata senilai $0,7^{\circ}\text{C}$. Rerata penurunan suhu udara terjadi di siang hari selama 11 jam dengan rerata penurunan suhu udara sebesar $2,2^{\circ}\text{C}$ dari pukul 08.00 hingga 18.00. Pengaruh waktu penurunan suhu udara membuktikan desain pendinginan alami pada Rumah Joglo Puhti memberikan rerata suhu udara nyaman lebih baik ($27,2^{\circ}\text{C}$) pada pukul 08.00, 08.00 , 10.00 dan 18.00.



Gambar 7. Penurunan suhu udara pada Rumah Joglo Puhti

Penurunan suhu udara juga terkait dengan nilai time lag selubung bangunan sebagaimana dinyatakan oleh Dili dkk (2011:660) bahwa time lag dapat diamati dengan mencari selisih waktu suhu udara puncak antara di dalam dan luar bangunan. Tidak terdapat perbedaan waktu antara suhu puncak di luar dan dalam bangunan yaitu pada pukul 14.00. Sehingga dapat disimpulkan bahwa time lag selubung rumah Joglo Puhti adalah 0; atau mempunyai konduktifitas material yang rendah.

Pengaruh elemen pendinginan alami kinerja penurunan suhu udara

Pengaruh elemen pendinginan alami terhadap kinerja penurunan suhu udara dapat dijelaskan berdasarkan hubungan antara kesesuaian elemen pendinginan alami dengan tercapai atau tidak tercapainya kinerja suhu dan kelembapan udara. Ketercapaian kinerja suhu dan kelembapan udara meliputi: rerata harian suhu udara yang nyaman; penurunan suhu udara harian, tidak terdapat selisih suhu udara puncak serta rerata kelembapan udara yang sama angka di luar dan di dalam rumah. Sedangkan tidak tercapainya kinerja suhu dan kelembapan udara mencakup: rerata suhu udara dalam bangunan di siang hingga sore hari (11.00-18.00) di luar batas suhu nyaman; rerata kelembapan udara yang diatas standar kesehatan (40-60%); selisih waktu kondisi kelembapan udara antara luar dan dalam bangunan.

Rerata suhu udara harian pada rumah Joglo Puhti sebesar $28,3^{\circ}\text{C}$ dipengaruhi oleh elemen bangunan terutama pada masa bangunan yang ramping dan minimalnya pembatas

ruang. Hal ini seperti hasil penelitian Ramli dkk (2012:200) tentang pengaruh masa bangunan dan ruang tunggal rumah vernakular Malaysia terhadap rerata suhu udara harian. Elemen volume atap yang besar berpengaruh terhadap kinerja penurunan suhu udara di siang hari pada obyek penelitian. Victoria (2017:5) memperkuat pernyataan tersebut berdasarkan hasil kajiannya pada rumah vernakular Dayak, dimana atap dengan volume besar dapat menurunkan suhu udara dalam bangunan.

Penurunan suhu udara berhubungan erat dengan kemampuan menyerap dan melepas panas yang dapat di evaluasi melalui besarnya selisih waktu suhu udara puncak antara ruang luar dan dalam bangunan. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dicermati bahwa waktu suhu udara tertinggi dalam rumah Joglo Puhti sama dengan waktu suhu udara luar yaitu pada pukul 14.00. Menurut Dili dkk (2011:660), apabila tidak terdapat selisih waktu antara suhu udara puncak di dalam dan luar bangunan maka konduktifitas material selubung bangunan rendah. Pengaruh konduktifitas yang rendah pada rumah Joglo Puhti ini juga sesuai dengan pendapat Prasetyo dan Astuti (2017:86) yang menjelaskan bahwa konduktifitas yang rendah pada material dinding rumah vernakular meningkatkan efek penyejukan dalam bangunan.

Elemen peninggian lantai berpengaruh terhadap kinerja kelembapan udara dalam bangunan dengan indikator nilainya senantiasa mengikuti kelembapan udara di luar bangunan. Kelembapan udara dalam rumah Joglo Puhti mempunyai rerata harian yang sama dengan lingkungan luar. Hal ini disebabkan adanya peninggian lantai meskipun tidak terlalu besar. Kinerja tersebut dapat ditingkatkan dengan menambah perbedaan lantai atau dengan konstruksi panggung seperti dinyatakan oleh Nugroho (2015:154).

Pengaruh elemen pendinginan alami juga dapat ditelusur melalui hasil kinerja suhu dan kelembapan udara yang belum tercapai. Kondisi rerata suhu udara pada rumah Joglo Puhti berada di atas batas suhu nyaman pada siang hari. Salah satu faktor penyebabnya adalah warna atap yang gelap dan cenderung menyerap panas radiasi matahari serta tidak adanya tanaman peneduh di sekitar bangunan. Hal ini sesuai pernyataan Nugroho (2019:21) yang menyebutkan warna cerah atap membantu memantulkan radiasi matahari serta penempatan tanaman peneduh pada sisi barat bangunan dapat menurunkan suhu dalam bangunan.

Elemen bukaan pada rumah Joglo Puhti mempunyai jumlah dan ukuran yang terbatas. Sehingga berdampak terhadap aliran udara yang masuk kedalam bangunan untuk membuang panas dan kelembapan udara. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari rerata kelembapan udara dalam bangunan sebesar 74,1% yang di atas batas standar kesehatan tempat tinggal. Hal ini diperkuat dengan pendapat Nugroho (2019:33) yang mengungkapkan bahwa di daerah iklim panas dan lembap maka keberadaan bukaan membantu menurunkan kelembapan udara dalam bangunan.

Permasalahan kelembapan udara pada obyek kajian merupakan faktor yang harus diselesaikan setelah strategi peneduhan dan pendinginan alami telah dilakukan. Penurunan suhu udara sebaiknya diikuti juga dengan penurunan kelembapan udara dan apabila kedua hal tersebut belum menghasilkan kondisi yang optimal maka dilakukan teknik penyejukan alami dengan bantuan aliran udara Nugroho dan Hamdan (2014:100). Hasil pengukuran kelembapan udara pada Rumah Joglo Puhti menunjukkan adanya selisih kelembapan udara maksimal di dalam ruang yang lebih lambat satu jam di banding di luar bangunan. Salah satu faktor penyebab adalah penggunaan material tanah sebagai lantai bangunan dengan sifat material yang melepaskan panas lebih lama. Victoria (2021:6) menyatakan bahwa penggunaan material yang berongga membantu menurunkan kelembapan udara pada bagian lantai. Nugroho (2020:402) menyatakan bahwa jenis tanaman setempat juga dapat membantu menurunkan kelembapan udara serta meningkatkan kualitas udara.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menjawab permasalahan terkait krisis energi dan kenyamanan bangunan yang dapat dicari solusinya melalui desain pasif pada arsitektur tradisional di masa lampau. Tujuan kajian yang dilakukan adalah mengevaluasi kinerja pendinginan alami pada studi kasus Rumah Tradisional Jawa dengan menggunakan metode teknik visual berdasarkan

kriteria desain pendinginan alami dan pengukuran suhu dan kelembapan udara. Pada akhirnya hasil kajian kinerja pendinginan alami pada Rumah Joglo Puhti sebagai salah satu wujud Arsitektur Tradisional Jawa menghasilkan tiga kesimpulan utama, yaitu: elemen desain pendinginan alami; kinerja pendinginan alami dan pengembangan strategi pendinginan alami. Elemen desain Rumah Joglo Puhti yang sesuai dengan kriteria pendinginan alami adalah: volume atap yang besar, teritisan yang lebar, dinding berwarna cerah dan berkonduktifitas rendah, peninggian lantai, masa bangunan yang ramping serta minimalnya dinding pembatas ruang. Sedangkan elemen desain yang belum sesuai adalah: warna atap yang kurang cerah, bukaan jendela yang terbatas, material lantai yang lembap dan tidak adanya tanaman peneduh di halaman. Kinerja pendinginan alami yang sudah memenuhi adalah rerata suhu udara harian yang nyaman; penurunan suhu udara di siang hari; tidak terdapat selisih suhu puncak atau bernilai time lag rendah serta kelembapan udara di dalam mengikuti kondisi di luar bangunan. Namun demikian terdapat kinerja pendinginan alami yang belum memenuhi yaitu: kondisi suhu udara yang di atas batas nyaman di siang hari serta rerata kelembapan udara yang di atas standar kelembapan untuk kesehatan. Pengembangan desain pendinginan alami Rumah Joglo Puhti di masa depan adalah dengan tetap mempertahankan elemen yang sudah memenuhi kriteria dan memperbaiki yang belum optimal seperti warna atap, bukaan dinding, material lantai serta penempatan dan jenis tanaman peneduh.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Brawijaya atas pendanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Unggulan 537.18.2/UN10.C10/PN/2021

DAFTAR RUJUKAN

- Damayanti, D.S. Suwantara, I.K. 2013. Eksplorasi Perbandingan Karakteristik Termal Ruang Dalam Bangunan Tradisional Raja Thie dan Limbadale di Kabupaten Rote Ndao. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia* 2 (2) : 50–58
- Dili, A.S. Naseer, M.A. Varghese, T.A. 2011. Passive Control Methods for A Comfortable Indoor Environment: Comparative Investigation of Traditional and Modern Architecture of Kerala in Summer. *Energy and Building* 43: 653-664
- Garde, F. 2004. Implementation and Experimental Survey of Passive Design Specifications Used in New Low-cost Housing under Tropical Climates. *Energy and Buildings* 36: 353–366
- Kindangen, J. I. 2017. Pendinginan Pasif Untuk Arsitektur Tropis Lembab. Yogyakarta: Deepublish (CB Budi Utama).
- Mediastika, C.E. 2013. Hemat Energi dan Lestari Lingkungan melalui Bangunan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nguyen, A.T. Truong, N.S.H.T. Rockwood, D. Le, A.D.T. 2019. Studies on Sustainable Features of Vernacular Architecture in Different Regions Across The World: A Comprehensive Synthesis and Evaluation. *Frontiers of Architectural Research*. 8 (4): 535-548
- Nugrahaeni, R & Suwantara I.K. 2012. Kinerja Termal Rumah Tradisional Uma Kbbu. *Jurnal Widyariset* 15 (3) : 577–586
- Nugroho, A.M & Hamdan, A. 2014. Passive Cooling Performance of a Solar Chimney and Vertical Landscape Applications in Indonesian Terraced House. *Jurnal Teknologi* 70 (7) : 99–104
- Nugroho, A. M. 2015. Passive Cooling System as Sustainable “Nusantara” Architecture Strategy. Makalah disajikan dalam International Joint Conference Wisdom of The Tropics Past, Present & Future, Universiti Teknologi Malaysia Johor Malaysia, 24-26 November 2015

- Nugroho, A.M. 2018. *Arsitektur Tropis Nusantara : Rumah Tropis Nusantara Kontemporer*. Malang: UB Press.
- Nugroho, A.M. 2019. *Rekayasa Ventilasi Alami untuk Penyejukan Bangunan sebagai Wujud Kecerdasan Dasar Arsitektur Nusantara*. Malang: UB Press.
- Nugroho, A.M. 2020. The Performance of Vertical Garden for Urban Housing Thermal Environment. *ARTEKS* 5 (3): 401-408
- Prasetyo, Y.H. Astuti, S. 2017. Ekspresi Bentuk Klimatik Tropis Arsitektur Tradisional Nusantara dalam Regionalisme. *Jurnal Permukiman*, 12 (2): 80-93
- Ramli, N. H. Kassim N., Zafrullah H. 2012. Re-adaptation of Malay Vernacular Architecture Thermal Comfort Elements: Towards Sustainable Design in Malaysia. Makalah disajikan dalam International Conference Innovation Technology Sustainable Built Environment, Universiti Teknologi MARA Cawangan Perak, 16-17 April 2012
- Suwantara, I.K. Nugrahaeni, R. Suprijanto, I. 2012. Kenyaman Termal Adaptif pada Rumah Tradisional Sao Pu'u di Kampung Wogo, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal WidyaRiset* 15 (2) : 425–436
- Victoria, J. Mahayuddina, S.A. Zaharuddina, W.A.Z.W. Harun, S.N. Ismail, B. 2017. Bioclimatic Design Approach in Dayak traditional Longhouse. *Procedia Engineering*, 0 (0):1-9