

**LAPORAN PENELITIAN**

**OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO TERHADAP  
UNSUR KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN  
PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA**



**Ketua:**

[5812018323] BONIFACIO BAYU SENASAPUTRO, ST, M.Sc

**Anggota:**

[5811989046] Dr. Ir. KRISPRANTONO

[5832016095] ROSALIA RACHMA RIHADIANI, S.T., M.Ars., IAI.HDII.GP.

**UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG**

# PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

1. Judul : OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO  
TERHADAP UNSUR KENYAMANAN  
TERMAL PADA BANGUNAN PENDOPO  
AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA
2. Ketua Tim
  - a. Nama : BONIFACIO BAYU SENASAPUTRO, ST,  
M.Sc
  - b. NPP : 5812018323
  - c. Program Studi : Arsitektur
  - d. Perguruan Tinggi : Unika Soegijapranata
  - e. Alamat Kantor/Telp/Faks/surel : bonifacio\_bayu@unika.ac.id
3. Anggota Tim
  - a. Jumlah Anggota : Dosen 2 orang  
Mahasiswa 2 orang
4. Biaya Total : Rp. 2.925.000,00

Mengetahui,  
Dekan Ars. Dan Desain,

Semarang, Januari 2021  
Ketua Tim Pengusul

Dr. Dra. B. TYAS SUSANTI, M.A.  
NPP : 5811990083

BONIFACIO BAYU SENASAPUTRO, ST,  
M.Sc  
NPP : 5812018323

Menyetujui,  
Kepala LPPM

Dr. BERTA BEKTI RETNAWATI, S.E., M.Si.

**Anggota Dosen:**

[5811989046]Dr. Ir. KRISPRANTONO, [5832016095]ROSALIA RACHMA RIHADIANI, S.T., M.Ars.,  
IAI.HDII.GP.,



**Catatan:**

- UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 ayat 1 :  
'Informasi Elektronik dan/atau Dokumen Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti hukum yang sah'
- Dokumen ini telah diberi tanda tangan digital, tidak memerlukan tanda tangan dan cap basah
- Dokumen ini dapat dibuktikan keasliannya dengan menggunakan qr code yang telah tersedia

# BERITA ACARA REVIEW

Program Studi Arsitektur - Ars. Dan Desain  
Universitas Katolik Soegijapranata Semarang

Pada hari ini, 22 Oktober 2020 telah diadakan review kegiatan penelitian/pengabdian dengan judul:

## OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO TERHADAP UNSUR KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA

Dengan catatan review sebagai berikut:

- Perlu ditambahkan cover proposal yang berisi tentang judul dan anggota tim peneliti. Apakah fokus penelitian adalah identifikasi ketahanan bangunan Pura Mangkunegaran? Apakah ada pengukuran di lapangan kondisi Pura Mangkunegaran, pengukuran suhu atau kelembaban? Fokus penelitian bisa di pertajam.
- Laporan penelitian cukup lengkap. dijelaskan prosedur pengukuran dengan alat di lapangan. Perlu ditambahkan tabel melengkapi grafik hasil simulasi untuk mengetahui perbedaan suhu, kelembaban atau kecepatan angin pada jam yang berbeda. Luaran belum ada.
- 1. dalam pendahuluan tidak terdapat acuan atau sumber-sumber. 2. pada profil tidak perlu dijelaskan tentang sejarah berdirinya mangkunegaran karena tidak terkait dengan masalah yang ditetapkan 3, tidak tertulis hipotesa berdasarkan pada kajian teorinya sebagai dasar dalam penelitian kuantitatif. 4. metode yang diterapkan tidak menggambarkan tahapan sesuai dengan masalah yang ditetapkan 3. antara isu pada fokus desain dengan diagram tidak sama sehingga membingungkan 4. acuan anggaran untuk modelling tidak jelas apakah bangunan atau detil bangunan serta tidak terkait dengan judul dan permasalahannya. 5. kajian terhadap faktor iklim dan kerentanan elemen bangunan sebaiknya dengan menggunakan analisis berbasis komputasi sehingga diketahui tingkat panas dsb. 6. daftar pustaka tidak diuraikan pada isi proposal
- Topik Penelitian Metode Penelitian Urgensi & Kebaruan Penelitian Rekam Jejak Tim Luaran yang dijanjikan
- Topik Penelitian: cukup menarik, namun perlu dikaitkan antara aspek iklim dengan aspek arsitektur dalam hal ini mangkunegaran. Metode Penelitian: masih terlalu umum, tidak dikaitkan dengan persoalan/pertanyaan penelitian. Urgensi & Kebaruan Penelitian: belum diungkapkan secara detil. hanya menampilkan judul penelitian terdahulu. Rekam Jejak Tim: cukup baik Luaran yang dijanjikan: tidak ada luaran
- Komentor sudah ada pada file, pada prinsipnya: 1. kajian pustaka (lihat lagi pada kotak) 2. kajian pustaka tidak perlu dituliskan definisi (batasi 1000 kata). 3. metode sudah diberi tahapan. prinsip metode adalah menjawab pertanyaan penelitian.
- review sudah saya tulis di file proposal, pada prinsipnya: 1 kajian pustaka dikembalikan lagi pada arahan di dalam kotak 2. kajian pustaka bukan pemaparan definisi, penjelasan definisi sebaiknya pada saat laporan dan dibuat singkat dan padat. 3. metode pada prinsipnya adalah langkah atau tahapan dalam menjawab pertanyaan penelitian, sehingga sebaiknya lebih spesifik terkait dengan tema yang diteliti atau pada proposal ini sudah penyajian secara spesifik 4. daftar pustaka sudah dimasukkan ke dalam isi pembahasan
- Dokumen ini telah diberi tanda-tangan digital, tidak memerlukan tanda tangan dan cap basah
- kriteria penentuan variabel belum dijelaskan secara mendalam, mengapa 4 titik kok tidak
- Dokumen ini dapat dibuktikan keasliannya dengan menggunakan qr code yang telah tersedia



10 titik. dasar penentuan nya bagaimana pada no. G jangan menggunakan kata "mungkin" dalam bahasa ilmiah hilangkan ketidakpastian bahasa dengan menggunakan kata atau kalimat yang pasti. jangan menggunakan kata populer, seperti "memang", "se akan-akan", "kurang lebih" dll. meskipun ada data yang diambil dengan menggunakan progam/aplikasi di dalam metode yang ditulis menggunakan data empirik sebagai upaya penyandingan untuk mendapatkan hasil yang valid. validitas hasil penelitian perlu dilakukan dalam tahap metode penelitian.

- 1. pertanyaan penelitian belum dijawab 2. dalam penentuan sampel belum dijelaskan dasar-dasarnya berdasarkan pada fakta di lapangan dan berdasarkan pada pertanyaan penelitian. 3. pada No G. ada kata "mungkin" sebaiknya dihilangkan demikian juga kata lain yang dapat memberikan interpretasi lain dapat dihilangkan.

Reviewer 1

Reviewer 2

Dr. Ir. ANTONIUS ARDIYANTO, M.T.

Ir. RIANDY TARIGAN, M.T.



Catatan:

- UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 ayat 1 :

'Informasi Elektronik dan/atau Dokumen Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti hukum yang sah'

- Dokumen ini telah diberi tanda tangan digital, tidak memerlukan tanda tangan dan cap basah

- Dokumen ini dapat dibuktikan keasliannya dengan menggunakan qr code yang telah tersedia

C. **JUDUL:** Tuliskan Judul Penelitian.

OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO TERHADAP UNSUR KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA

B. **RINGKASAN:** Tuliskan Ringkasan/Abstrak Kegiatan Penelitian

*Perubahan iklim yang terjadi dalam suatu lingkungan terbangun memberikan dampak yang signifikan terhadap tingkat kenyamanan termal pada lingkungan dan bangunan yang terdapat pada kawasan tersebut. Terlebih ketika lingkungan dan bangunan tersebut merupakan salah satu aset cagar budaya yang masih berperan fungsinya dalam kegiatan yang bersifat sakral, salah satunya adalah bangunan pendopo ageng Mangkunegaran Surakarta. Pendopo merupakan salah satu elemen arsitektural pada tatanan ruang pada arsitektur Jawa, yang keberadaannya menyatu dan menjadi bagian dari ruang luar, dan seringkali disebut sebagai elemen bangunan semi-tertutup karena bentuk dan kondisi fisiknya yang tanpa dinding. Pendopo ageng Mangkunegaran merupakan salah satu pendopo terbesar di Indonesia, menjadikan ini sebagai salah satu yang khas untuk dikaji terkait optimasi kenyamanan termal lingkungan yang diperoleh dari kondisi iklim mikro. Penelitian ini bertujuan merumuskan pengaruh kondisi iklim mikro yang terdapat baik di sekitar lingkungan maupun bangunan di dalam pendopo terhadap kondisi termal yang diperoleh. Hasil penelitian ini akan mengarahkan pada optimasi terhadap kondisi iklim mikro supaya dapat diperoleh hasil kenyamanan termal yang ideal. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan metode kuantitatif yang didukung oleh simulasi eksperimental melalui analisis komputasi ENVI-met. Penelitian ini dilaksanakan melalui tiga tahap, yakni tahap pertama berupa tahap empiris pengukuran kondisi iklim mikro, tahap kedua berupa simulasi menggunakan ENVI-met untuk mengetahui kondisi termal yang tercipta dari elemen lansekap di sekitar pendopo ageng dan area yang dinaungi oleh atap pendopo, tahap ketiga adalah upaya optimasi berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh berupa rekomendasi yang bertujuan untuk menciptakan kondisi iklim mikro yang ideal.*

**Kata-kata kunci :** Pendopo Ageng Mangkunegaran; Kondisi Iklim Mikro; Sistem ENVI-met, Optimasi Kenyamanan Termal

C. **HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

## LATAR BELAKANG

Bangunan Pendopo Ageng Mangkunegaran merupakan bagian dari kawasan istana Pura Mangkunegaran Surakarta, yang menjadi salah satu unsur daya tarik wisata dan cagar budaya yang patut dijaga kelestariannya. Pendopo ageng Mangkunegaran merupakan salah satu

representasi arsitektur Jawa, dimana fungsi dari eksistensinya memberikan suatu pengaruh yang positif bagi bumi lingkungannya. Arsitektur tradisional Jawa, saat ini diyakini dari generasi ke generasi terus berkembang dan sesuai dengan kondisi pada masa kini, dimana perubahan-perubahan yang ada sangat memungkinkan terjadi tidak hanya ditinjau dari aspek fisik bangunan, melainkan juga perubahan kondisi yang terdapat pada lingkungan di sekitar obyek fisik bangunan, salah satunya adalah jarak antar massa dengan bangunan di sekitar, vegetasi, unsur-unsur alami pada lansekap seperti air dan material penutup tanah (paving). Landasan berfikir dari eksistensi bangunan pendopo Ageng Mangkunegaran ialah ciri fisiknya yang khas dan merupakan ruang semi terbuka yang tidak lepas eksistensinya yang merupakan bagian dari ruang luar., Pendopo merupakan sarana pernaungan yang berfungsi menjalin komunikasi dengan sesama manusia, sebagai ruang untuk menjalin pertemuan silaturahmi melalui upacara maupun pagelaran seni [1](Priyotomo, 1984). Dalam filosofi tatanan ruang dalam Arsitektur Jawa, pendopo merupakan bagian dari tatanan konfigurasi rumah Jawa dengan oposisi biner, yakni keberadaannya di antara ‘luar’ dan ‘dalam’, antara ‘ruang aktivitas’ dengan ‘ruang istirahat’, sehingga keberadaannya sebagai bagian dari ruang luar menjadi salah satu faktor yang paling diperhitungkan dalam upaya membentuk iklim mikro pada lingkungan binaan [2](Santosa, 2000).

### *Latar Belakang Masalah*

Eksistensi bangunan pendopo ageng Mangkunegaran sebagai bagian dari elemen bangunan dengan karakter struktur fisik ‘semi-terbuka’ terhadap pelataran (ruang luar) maupun ruang dalam (area pernaungan atap pendopo) tentu tidak terlepas dari faktor penentu fisik elemen tata ruang luar di sekitar bangunan pendopo. Area pelataran di sekitar bangunan pendopo beberapa dekade ini mengalami perubahan elemen fisik, beberapa diantaranya pengurangan beberapa elemen vegetasi berupa pohon peneduh, perubahan permukaan tanah yang ditutup dengan paving, serta elemen air pada kolam yang saat ini tidak beroperasi. Di samping itu, faktor keberadaan bangunan di sekeliling bangunan pendopo yang saat ini direnovasi juga berpengaruh terhadap perubahan suhu yang signifikan. Perubahan elemen fisik di sekitar pendopo Mangkunegaran diduga mempengaruhi faktor UHI (*Urban Heat Island*) yang sangat menentukan pengaruh yang signifikan terhadap tingginya suhu udara di dalam suatu kawasan, sehingga mempengaruhi kualitas udara yang terdapat di sekitar bangunan. Ruang terbuka yang terdapat pada sekitar bangunan pendopo Mangkunegaran yang direpresentasikan melalui elemen desain pelataran sisi barat, timur dan selatan, yang ditata untuk memperoleh unsur keindahan, kenyamanan, serta kesehatan dari pengguna. Ruang terbuka (pelataran) yang terdapat di sekitar bangunan pendopo memiliki peranan penting sebagai pengendali iklim mikro yang berpengaruh pula terhadap kenyamanan termal pada bangunan pendopo. Dengan mengetahui pengaruh perubahan iklim mikro yang terdapat pada area di sekitar bangunan pendopo, akan diperoleh data empiri mengenai seberapa besar perubahan iklim mikro yang terdapat pada area di sekitar pendopo ageng Mangkunegaran dapat mempengaruhi unsur kenyamanan termal pada bangunan pendopo.

### *Pertanyaan Penelitian*

- a) Bagaimana elemen desain pelataran pendopo Mangkunegaran dapat mempengaruhi kondisi iklim mikro yang berdampak pada unsur kenyamanan termal?
- b) Elemen desain apa yang paling signifikan mempengaruhi unsur kenyamanan termal pada bangunan pendopo Mangkunegaran?

- c) Apa rekomendasi untuk memperoleh kondisi ideal dalam fenomena perubahan iklim mikro di pendopo Mangkunegaran?

#### *Fokus Kajian*

Fokus penelitian ini adalah pada isu perubahan elemen desain di pelataran pendopo Mangkunegaran dan mengkaji apakah terdapat pengaruh yang signifikan terhadap perubahan iklim mikro sehingga berpengaruh terhadap kenyamanan termal.

#### *Tujuan dan Manfaat Penelitian*

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor kondisi iklim mikro yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal pada bangunan pendopo ageng Mangkunegaran, serta menghasilkan arahan rancang khususnya terkait dampak faktor suhu serta kelembaban.

Manfaat penelitian ini adalah sebagai rujukan bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang pengkajian arsitektur bangunan Istana Mangkunegaran dan cagar budaya, sebagai unit informasi yang membuktikan secara ilmiah unsur kenyamanan termal yang tercipta dari sebuah bangunan pendopo Jawa yang terbesar. Selain itu juga dapat memberikan manfaat sebagai acuan terkait arahan rekomendasi bagi pihak pemelihara dan pemerhati cagar budaya untuk penanganan renovasi dan rehabilitasi yang memungkinkan untuk dilakukan tanpa mengurangi unsur kenyamanan termal pendopo Mangkunegaran.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### *Posisi Penelitian terhadap Penelitian Sejenis terkait Pura Mangkunegaran Surakarta*

Penelitian yang membahas terkait dengan obyek penelitian Mangkunegaran cukup banyak. Namun kebanyakan membahas terkait pada aspek-aspek isu kebudayaan, makna bentuk dan ruang arsitektur, serta bagian dari struktur morfologi keruangan kota. Sementara penelitian yang terkait dengan fokus kajian, yakni mengenai tinjauan iklim mikro yang berbasis komputasi belum pernah dilakukan. Sehingga penelitian yang diusulkan oleh tim diharapkan akan memperoleh kebaruan terutama peranannya di dalam memberi kontribusi data terkait kondisi iklim mikro bangunan pendopo yang berpengaruh terhadap unsur kenyamanan termal pada bagian ruang bangunan pendopo. Untuk mengetahui posisi kebaruan pada penelitian ini, perlu ditelaah terhadap studi yang pernah dilakukan terkait dengan Pura Mangkunegaran Surakarta, yakni melalui beberapa penelitian sebagai berikut :

- a) Samsudi, S. (2020). Aspek-Aspek Arsitektur Kolonial Belanda Pada Bangunan Pendopo Pura Mangkunegaran Surakarta. *Arsitektura. Jurnal Ilmiah Arsitektur dan Lingkungan Binaan*. Surakarta: UNS.[3]
- b) Rosanawati, I Made Ratih (2019). Arsitektur Barat dan Pura Mangkunegaran. *Jurnal Prodi Pendidikan Sejarah Universitas Veteran Bangun Nusantara Indonesia*. [4]
- c) Muhammad J. Lazuardi (2018). Analisis Citra Kawasan Mangkunegaran berdasarkan Penilaian Stakeholder dengan Konsep Legibility. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*. Surakarta: UNS [5]
- d) Nurul Latifa (2018). Akulturasi pada Arsitektur Pura Mangkunegaran di Surakarta. *Repository, Jurusan Pendidikan Sejarah, FIS, Universitas Negeri Surabaya*. [6]
- e) Eny Krisnawati (2014). Tinjauan Aspek Budaya Pada Pura Mangkunegaran Surakarta Dalam Upaya Menggali Ide Konsep Rumah Tinggal Jawa. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*. Surakarta: UTP. [7]

Penelitian-penelitian terkait eksistensi dari kompleks pura mangkunegaran Surakarta yang disebutkan di atas lebih berfokus pada kebaruan kontribusi di dalam memberikan pengetahuan dan informasi terkait obyek dan lokus penelitian pada pura Mangkunegaran. Namun jika yang mengarah pada studi iklim mikro dan kenyamanan termal berbasis komputasi belum pernah dilakukan. Urgensi dari upaya optimasi kondisi iklim mikro melalui penelitian ini diharapkan bahwa bangunan pendopo ageng sebagai bangunan cagar budaya perlu ditinjau terkait eksistensinya yang memberi efek timbal balik melalui faktor iklim setempat. Di samping itu, studi mengenai unsur kenyamanan termal juga memberikan peran untuk mengetahui rentan jangka waktu yang diperlukan untuk efektifitas pelaksanaan tindakan penanganan bangunan cagar budaya dari sisi perawatan berkala, perbaikan dan pemugaran.

### *Tinjauan Fungsi Pendopo Ageng Mangkunegaran*



Gambar 1. Tampak Udara Kawasan Pura Agung Mangkunegaran (keseluruhan) dan Pendopo Ageng (tengah). (Sumber: Observasi Peneliti, 2020)

Dalam eksistensi tatanan ruang pada Arsitektur Jawa, bangunan pendopo merupakan bangunan yang berfungsi sebagai ruang berkumpul dan melakukan interaksi sosial [2](Santosa, 2000). Secara struktur hirarki dalam bangunan Istana Mangkunegaran, bangunan pendopo merupakan bagian penting dari sebuah tatanan umum tata ruang Jawa, yakni selain sebagai ruang serambi muka, secara simbolik juga merupakan simbol ruang bertemu antara Sultan Mangkunegoro dengan rakyat dan para prajuritnya pada acara resmi kenegaraan.

Pendopo Ageng Pura Mangkunegaran Surakarta memiliki bentuk *omah joglo hageng*, yang berarti Rumah Joglo Besar. Hampir sama dengan rumah Joglo Pengrawit, namun memiliki ukuran yang lebih rendah dengan ditambah atap yang disebut Paningrat yang ditambahkan emperan pada sisi barat, timur dan selatan bangunan. Bangunan menghadap ke selatan, sedangkan pada sisi utara terhubung langsung dengan *pringgitan*. Struktur atap pendopo Ageng Mangkunegaran termasuk dalam tipe Joglo Trajumas dengan atap miring ke atas yang terdapat 3 (tiga) lekuk. Bagian yang teratas disebut atap brunjung, lalu diikuti atap penanggap dan atap penitih menjadi satu garis, sedangkan bagian paling bawah disebut atap peningrat [7](Krisnawati, 2014). Terdapat pula atap tambahan yang mengelilingi pendopo atau yang disebut sebagai atap emperan. Struktur atap ditopang oleh kolom tiang kayu jati dan tiang besi pipa pada *tratag*.



Ditinjau dari bagian-bagian komponen bangunan yang lain, Pendopo Ageng Mangkunegaran ini memiliki Struktur atas meliputi Atap (usuk, kerangka atap, reng, sirap asbes dan talang) Konstruksi atap bangunan Pendopo Agung ini terdiri dari Brunjung, Penanggap, Penitih dan Paningrat. Struktur atap ditopang oleh tiang-tiang kayu jati dan tiang besi pipa pada emperan. Kondisi pada saat ini balungan masih cukup baik dengan adanya renovasi tahun 2010 - 2011. Saka Guru berdiri di atas umpak marmer berukuran 1 m x 1 m dengan diikat tembaga pada bagian bawah Pada bagian sudut-sudut diberilis berwarna emas. Kolom atau saka didirikan diatas umpak. Tinggi Saka Guru adalah 10.50 m ukuran saka 40 cm x 40 cm jumlah 4 buah. Saka Rawa berdiri di atas umpak marmer dengan tinggi saka 8 m ukuran saka rawa 26 cm x 26 cm jumlah 12 saka. Saka guru tinggi 5 m ukuran saka 26 cm x 26 cm jumlah 20 berdiri diatas umpak marmer. Saka emper berdiri di atas umpak dengan tinggi 4 m ukuran 20 cm x 20 cm dan berjumlah 28. Saka Emperan terbuat dari besi dengan tinggi 3.75 m diameter 20 cm. Pada bagian atas Saka Tratatg dihubungkan dengan blandar balok kayu horizontal.

Mempertimbangkan posisi bangunan pendopo yang melekat dengan beberapa bangunan lain di sekeliling pendopo, yang membentuk jarak antar bangunan serta luas area pelataran, serta karakter fisik bangunan pendopo itu sendiri dengan ciri khas bangunan fungsi pernaungan yang ditata tanpa dinding, menjadikannya eksistensi pendopo dapat dikaji mengenai peranan timbal balik terhadap unsur kenyamanan termal pada lingkungan. Pengaruh iklim mikro yang hendak ditelaah akan mencari suatu pembuktian yang mengarah pada perubahan kondisi kenyamanan termal di lingkungan sekitar terhadap pendopo, demikian juga sebaliknya.

#### *Tinjauan Iklim Tropis Lembab*

Iklim tropis lembab memiliki ciri-ciri serta pengaruh terhadap masalah yang umum dihadapi oleh bangunan adalah sebagai berikut [8](Karyono, 1999):

- a) Curah hujan relatif tinggi (tidak merata sepanjang tahun) sekitar 2000-3000 mm/tahun.
- b) Radiasi matahari yang relatif tinggi, yakni sekitar 1500 hingga 2500 kWh/m<sup>2</sup>/tahun
- c) Suhu udara yang relatif berfluktuasi semakin tinggi
- d) Kelembaban tinggi
- e) Kecepatan angin relatif rendah

Secara garis besar, persoalan mayoritas yang dihadapi pada kondisi iklim tropis lembab yaitu radiasi matahari dan kelembaban yang relatif tinggi sedangkan kecepatan angin yang sangat rendah. Elemen iklim tropis lembab yang perlu untuk dipertimbangkan yaitu :

- a) Radiasi matahari, merupakan elemen iklim yang memiliki pengaruh dalam rancangan bangunan. Pengaruh radiasi matahari pada suatu tempat tertentu dapat ditentukan terutama oleh: durasi radiasi, intensitas, dan sudut jatuh [9](Lippsmeier,1980). Radiasi panas dapat terjadi oleh sinar matahari yang langsung masuk ke dalam bangunan dan dari permukaan yang lebih panas dari sekitarnya, untuk mencegah hal itu dapat digunakan alat-alat peneduh (*Sun Shading Device*).
- b) Angin, dalam hal ini ventilasi silang merupakan faktor yang sangat penting bagi kenyamanan ruang. Oleh karena itu, pada daerah iklim tropis lembab, posisi bangunan yang melintang terhadap arah angin utama lebih penting dibandingkan dengan perlindungan terhadap sinar matahari. Pengudaran ruangan yang berkelanjutan di daerah tropis terutama untuk memperbaiki iklim ruangan. Udara yang bergerak menghasilkan penyegaran terbaik, dimana kondisi penyegaran yang baik terjadi melalui proses penguapan, yang berarti penurunan temperatur pada permukaan bangunan [9](Lippsmeier,1980).

- c) Presipitasi, terbentuk oleh kondensasi atau sublimasi uap air. Presipitasi di daerah iklim tropis jatuh berupa hujan. Di daerah tropis presipitasi turun pada umumnya selama musim hujan, yang dikhatulistiwa terjadi dua kali setahun. Orientasi bangunan sebaiknya tegak lurus terhadap arah angin, tetapi ini sekaligus berarti, tanpa perlindungan yang tepat, hujan yang dibawa angin akan mudah masuk ke dalam ruangan. Secara prinsip, konstruksi yang melindungi dinding, jendela, pintu terhadap cahaya matahari juga berfungsi sebagai pelindung hujan [9](Lippsmeier,1980). Selain itu kemiringan atap sangat berperan untuk menyalurkan air hujan, oleh karena itu atap datar dan kemiringan kecil sangat dihindari untuk bangunan di daerah tropis yang memiliki curah hujan yang tinggi.
- d) Suhu dan Kelembaban; yakni terkait dengan kadar kelembaban udara, berbeda dengan unsur-unsur yang lain, dapat mengalami fluktuasi yang tinggi dan tergantung terutama pada perubahan temperatur udara. Semakin tinggi temperatur, semakin tinggi pula kemampuan udara menyerap air. Kondisi iklim di tropis mempunyai karakteristik yaitu temperatur udara tinggi, kelembaban relatif tinggi dan kecepatan angin rendah yang membuat kondisi lingkungan tidak nyaman [9](Lippsmeier,1980).

Catatan : dalam hal ini, yang diambil sampel oleh tim adalah Angin, suhu dan kelembaban, dikarenakan keterbatasan ketersediaan alat dan keterbatasan waktu diijinkan pengambilan data/sampel di lapangan.

### *Tinjauan Iklim Mikro*

Iklim mikro, atau yang disebut sebagai *micro-climate*, merupakan suatu kondisi iklim pada ruang yang sangat terbatas, yang diukur dalam ambang batas kurang lebih setinggi 2 meter dari permukaan tanah. Iklim mikro merupakan bentukan ruang iklim yang terdapat pada lingkungan dengan skala terbatas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lingkungan alam maupun buatan, seperti peletakan vegetasi, penggunaan paving, elemen alamiah seperti air, tanah. Sedangkan pengaruh yang dibentuk dari faktor-faktor tersebut mengarah pada suhu udara, suhu permukaan tanah, kecepatan arah angin, intensitas sinar matahari yang diterima oleh permukaan bangunan, dan kelembaban udara [10](Soegijanto, 1998).

Iklim Mikro terkait dengan eksistensi dari bangunan pendopo, terkait dengan tingkat kenyamanan yang diperoleh dari hasil kinerja bangunan, tidak terlepas dari 4 aspek utama [11](Nicol, 2004), yaitu :

- a) Siklus pergantian dan aliran udara dalam ruang; Angin atau udara yang masuk untuk pergantian penghawaan yang lebih baik berasal dari depan dan samping bangunan. Untuk mendapatkan iklim mikro yang seimbang.
- b) Orientasi bangunan; bangunan diupayakan tidak membelakangi arah angin yang beredar di lingkungan sekitarnya. Perencanaan kamar mandi diusahakan di sebelah barat agar tidak lembab dan cepat kering.
- c) Pengaturan vegetasi; Vegetasi digunakan selain sebagai pengaruh sirkulasi juga sebagai pengatur iklim mikro (matahari dan angin) dalam suatu perencanaan. Bila suatu pohon berada di sebelah barat bangunan, maka lebih baik membiarkannya tumbuh tinggi dan untuk semak-semak lebih baik diletakkan di atah timur.
- d) Penggunaan bahan bangunan; bahan bangunan yang digunakan merupakan bahan yang kuat dan kokoh serta mampu menahan bangunan dari cuaca buruk dan angin kencang.

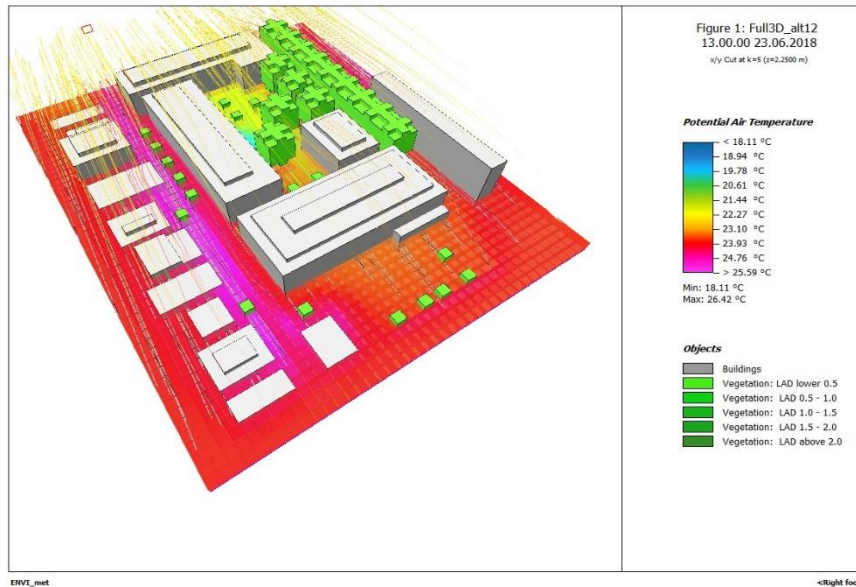
### *Tinjauan Unsur Kenyamanan Termal*

Unsur kenyamanan termal dari suatu lingkungan terbangun pada daerah beriklim tropis lembab ditentukan oleh 3 (tiga) faktor yang menjadi parameter [9](Lippsmeier,1980), yakni sebagai berikut:

- a) Temperatur Udara; dimana terdapat standard kriteria kenyamanan yang terbagi menjadi sejuk nyaman ( $20,5^{\circ}\text{C} - 22,8^{\circ}\text{C}$ ), nyaman optimal ( $22,8^{\circ}\text{C} - 25,8^{\circ}\text{C}$ ), serta hangat nyaman ( $25,8^{\circ}\text{C} - 27,1^{\circ}\text{C}$ ).
- b) Kelembaban Udara; merupakan kadar jumlah air dalam udara yang dinyatakan melalui prosentase %, dimana kriteria kenyamanan berkisar antara 40% hingga 70%.
- c) Arah dan Kecepatan Angin; yakni berkisar antara 0,1 m/s hingga 0,5 m/s.

### *Tinjauan Sistem ENVI-met v.4.0 sebagai Alat Analisis*

*Tools* yang akan digunakan sebagai alat analisis utama dalam penelitian ini adalah *software* Envimet v.4.0. Mengacu pada kebutuhannya sebagai alat simulasi dan olah data faktor iklim mikro pada bangunan pendopo ageng Mangkunegaran, *software* ini merepresentasikan sebuah permodelan holistik non-hidrostatik 3 (tiga) dimensional untuk keperluan simulasi interaksi permukaan benda – tumbuhan – udara pada lingkungan kawasan terbangun yang terpengaruh juga oleh fenomena *urban heat island*. *Tools* ini juga digunakan untuk mengukur tingkatan pencapaian arsitektur hijau [12](Grey et.al, 1978). Secara spesifik, Envimet v.4.0 mampu menyelesaikan permasalahan iklim mikro seperti; analisis pengaruh matahari, pola aliran udara, sebaran polusi udara, kenyamanan termal ruang luar, perilaku fisika bangunan, serta pemanfaatan teknologi hijau maupun biru. *Software* ini telah banyak digunakan oleh lebih dari 100 buah disertasi doktoral serta lebih dari 126.000 karya tulis di seluruh negara-negara dunia. Sebagai contoh, [13]Liua et.al (2020) membuktikan bahwa ENVI-met dapat menghitung sebagian besar parameter radiasi lingkungan dan memiliki tingkat kesalahan (*errors*) paling rendah dibandingkan *software* lain yang sejenis. [14]Kim et. al (2020) menggunakan ENVI-met untuk melakukan studi simulasi terhadap iklim mikro secara spasial dan temporal pada suatu lingkungan stadion olahraga di Pyongyang, Korea Utara. Berardi et. al (2020), meneliti berbagai upaya mitigasi gelombang panas di Toronto, Kanada, dengan cara meningkatkan area hijau yang dievaluasi dengan Envimet v.4.4. [15]Crank et.al (2018), melakukan validasi model Envimet akan tingkat ketergantungannya terhadap jenis konstruksi grid dan kemampuannya mensimulasikan perubahan suhu udara untuk memitigasi panasnya. [16]Sharmin et.al (2017), mengukur responsifitas Envimet v.4.0. dalam mengidentifikasi perubahan geometri perkotaan terhadap pengukuran lapangannya dan menghasilkan estimasi suhu udara rerata lingkungan yang cukup baik. Penelitian lain oleh [17]Perini et.al (2017) mengenalkan metoda baru untuk meningkatkan akurasi dalam mengestimasi kenyamanan termal ruang luar dan suhu radiasi rerata lingkungan saat memodelkan dan mensimulasikan pengaruh bentuk kota dan vegetasi iklim mikro perkotaan dengan menggabungkan Envimet dan TRNSYS melalui *platform* Grasshopper, serta WinAir untuk simulasi penghitungan arah dan kecepatan angin.

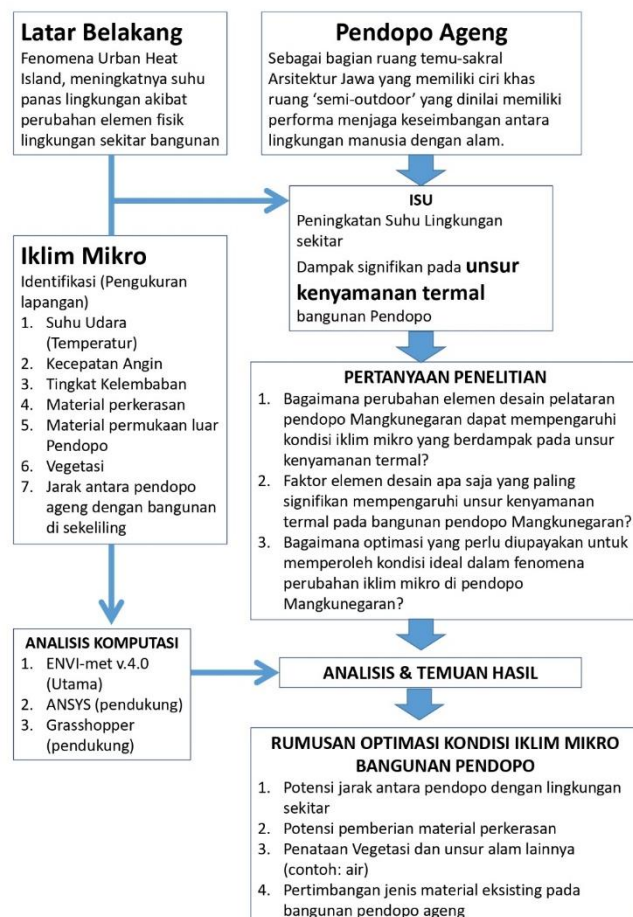


Gambar 2. Contoh Terapan Simulasi Potensi Suhu Udara Lingkungan – proyek random.  
(Sumber: dokumentasi olah data Peneliti, 2020)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh tim peneliti akan membuat validasi model lingkungan yang ideal bagi Arsitektur Pendopo di lingkungan Mangkunegaran, dengan berbagai kekhasan nilai dan unsur fisik yang terkait dengan cipta-kondisi ideal pada iklim mikro, sehingga diperoleh rumusan kebaruan bagi Arsitektur Pendopo di lingkungan Mangkunegaran.

*State of the art* / kebaruan dalam penelitian ini tercantum melalui diagram alur sebagai berikut:

**DIAGRAM ALUR PIKIR PENELITIAN**  
(*state of the art*)



Gambar 3. Diagram Alur Pikir Penelitian  
(Sumber: analisis Peneliti, 2020)

## METODE PENELITIAN

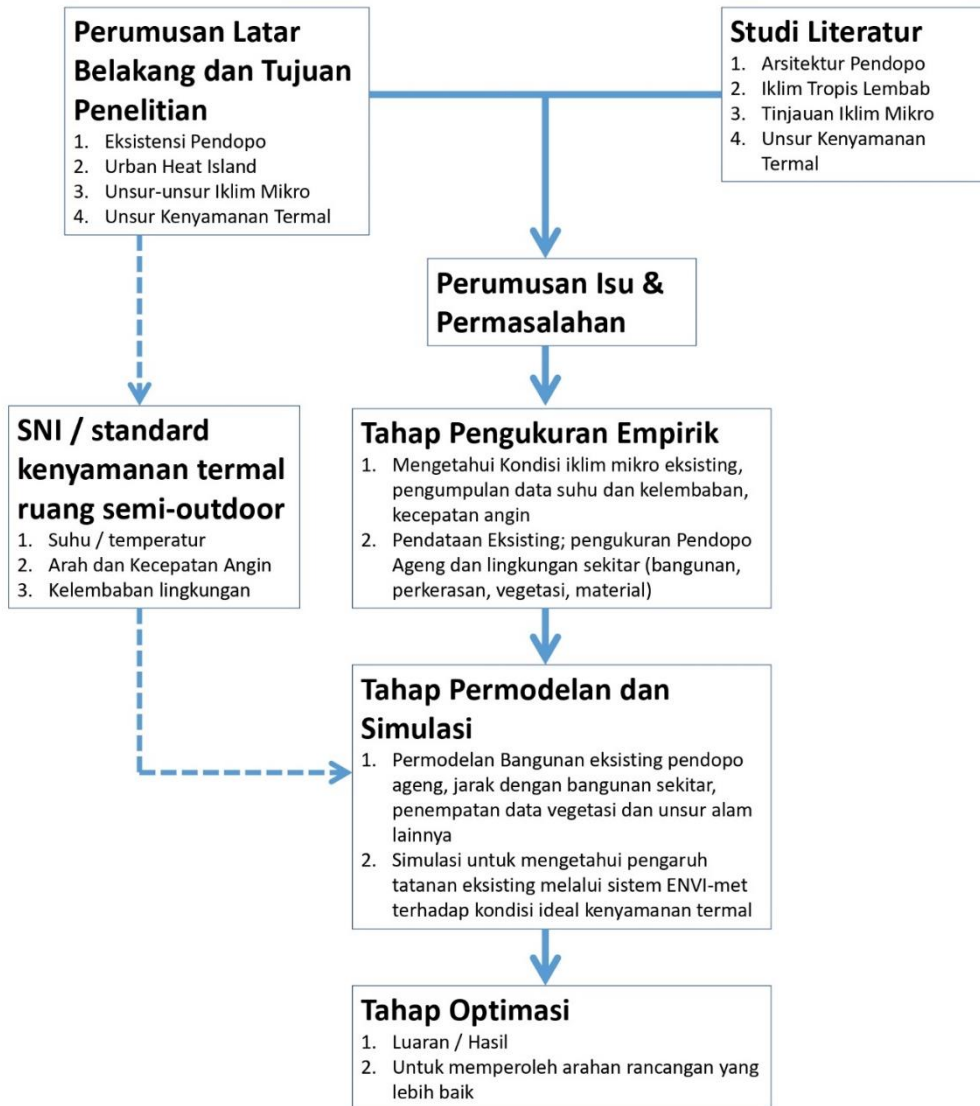
Penelitian ini berfokus pada penciptaan kondisi ideal melalui optimasi kondisi iklim mikro yang terdapat pada area sekitar pendopo (pelataran depan dan sisi samping), serta ruang di bawah naungan atap pendopo ageng Mangkunegaran. Tujuannya adalah memperoleh hasil yang ideal terhadap kondisi kenyamanan termal dan tingkat kelembaban. Metoda yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode kuantitatif, yang dilaksanakan melalui dukungan simulasi komputasi (eksperimental). Simulasi merupakan metode penelitian yang terkontrol dalam konteks riil (data yang sesuai fakta sebenarnya) yang bertujuan mempelajari interaksi fluid (dinamis) dalam suatu pengaturan [18](Wang, 2002).

Penelitian ini dilaksanakan melalui 3 (tiga) tahapan utama. Tahap yang pertama adalah pengukuran empirik, yang bertujuan mengetahui kondisi iklim mikro dan analisis iklim mikro (eksisting) dengan melakukan pendataan terhadap suhu temperatur, kelembaban dan kecepatan angin, yang diukur di lokasi penelitian. Penentuan titik lokasi ditentukan 4 (empat) titik utama, yakni 3 (tiga) titik pelataran sekitar pendopo ageng, dan 1 (satu) titik di area ruang pendopo ageng. Data-data dan variabel tambahan juga diukur seperti vegetasi bertajuk rindang, sedang, serta elemen vegetasi yang lain. Selain itu juga pendataan elemen perkerasan, tanah pelataran, serta elemen air pada lansekap. Tahap kedua, yakni dengan melakukan studi simulasi melalui sistem ENVI-met untuk mengetahui pengaruh eksisting tata ruang sekitar pendopo terhadap kondisi unsur kenyamanan termal. Tahap yang ketiga merupakan simulasi optimasi, yakni melalui program yang sama, untuk meninjau tahapan menuju pada kondisi yang lebih baik.

Penelitian ini dilaksanakan melalui dukungan simulasi komputasi dengan software ENVI-met berupa permodelan iklim mikro 3 (tiga) dimensional yang dirancang untuk permodelan bentuk bangunan, ruang antara pada pelataran, dan permukaan selubung bangunan pada bangunan di sekitar pendopo mangkunegaran. Selain itu unsur vegetasi dan paving block pada pelataran sekitar pendopo dan interaksi udara pada iklim skala mikro melalui resolusi khas 0.5-10 m pada area ruang dalam pendopo ageng dengan rentan waktu tertentu. *Engine* atau mekanik simulasi permodelan dalam ENVI-met ini didasari oleh hukum mekanika fluida dan termodinamika. Model simulasi dilaksanakan pada aliran di sekitar dan di dalam area pendopo, proses pertukaran panas serta uap pada permukaan tanah, bangunan, turbulensi, pertukaran parameter vegetasi dan bioklimatologi dan partikel *disperse* [14] (Kim et al, 2020).

Tahapan penelitian digambarkan pada diagram berikut :

### TAHAPAN PENELITIAN



Gambar 4. Tahapan Penelitian.  
(Sumber: Analisis Peneliti, 2020)

### HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan melakukan pengukuran lapangan pada Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran Surakarta. Hasil pengukuran tersebut lalu digunakan untuk melakukan proses validasi *software* Envi-met v4.0 dengan tujuan membuktikan kesahihannya mereplika kejadian lingkungan di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran. Setelah target validasi tercapai, dikembangkan skenario-skenario model lingkungan dengan Envi-met v4.0 yang disimulasikan lalu diperbandingkan secara termal untuk mendapatkan kesimpulan.

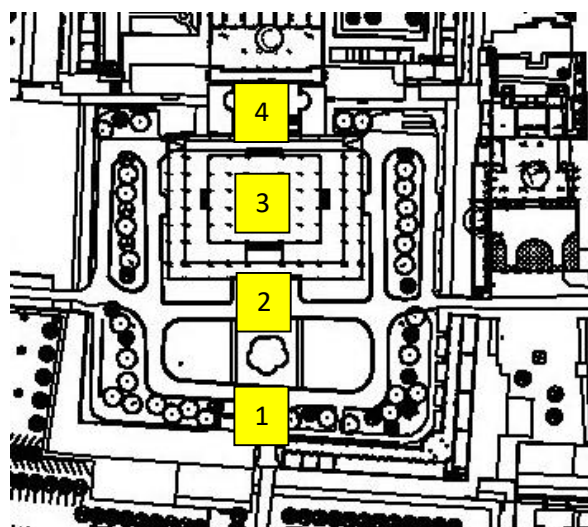
#### *Observasi & Pengukuran Data Lapangan*

Pengukuran lapangan dilakukan dengan alat ukur suhu udara dan kecepatan angin *Hobo Data Logger U12-012* interior berjumlah dua buah, *Hobo Data Logger U002-64* pendant eksterior satu buah, dan sebuah anemometer digital *Lutron LM-8000A*. Karena terdapat aturan yang ketat selama pandemi pada obyek kajian Pendopo Mangkunegaran, maka pengukuran hanya dapat dilakukan selama 30 menit pada tanggal 5 Juni 2021 pukul 10.40 – 11.10 WIB.



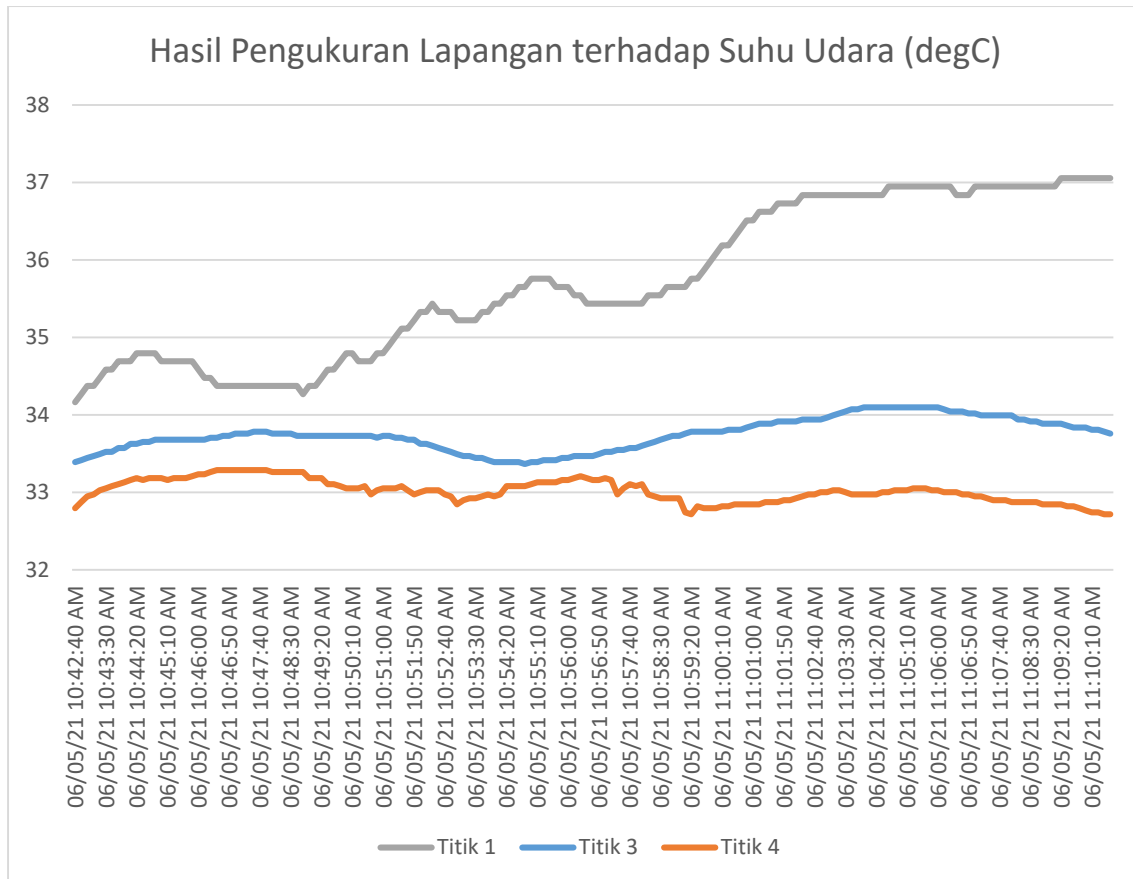
Gambar 5. Ilustrasi alat ukur *Hobo U12-012* (kiri), *Hobo U002-64* (tengah), dan *Lutron LM-8000A* (kanan)

Adapun posisi titik ukur pada pendopo adalah seperti gambar di bawah ini. Posisi 1 ditetapkan pada area gerbang sisi selatan bertujuan untuk mengukur suhu udara luar. Posisi 2 diletakkan pada area depan pendopo untuk mengukur kecepatan angin yang masuk ke dalam pendopo. Posisi 3 terdapat di area tengah pendopo untuk mengukur suhu udara yang terdapat di dalam pendopo. Kemudian, posisi 4 terletak pada area terdalam pendopo untuk mengetahui suhu udara terjauh dari arah angin yang masuk. Pengukuran lapangan hanya berfokus pada suhu udara dan kecepatan angin saja karena keterbatasan kemampuan alat ukur *Hobo Data Logger U002-64* yang dapat mengukur suhu udara saja. Dengan demikian, validasi hanya dapat dilakukan terhadap suhu udaranya saja. Sedangkan, data kecepatan angin yang direkam oleh alat *Lutron* akan digunakan sebagai acuan input angin saat proses validasi dan simulasi berjalan.



Gambar 6. Posisi Pemasangan Alat Ukur pada Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran (Dokumentasi Peneliti, 2021)

Setelah dilakukan pengukuran di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran, didapatkan data suhu udara pada titik-titik ukur diatas sebagai berikut.



Gambar 7. Data Suhu Udara Pengukuran Lapangan Pada Titik 1, Titik 3, dan Titik 4.

(Sumber : Catatan Lapangan Peneliti, 2021)

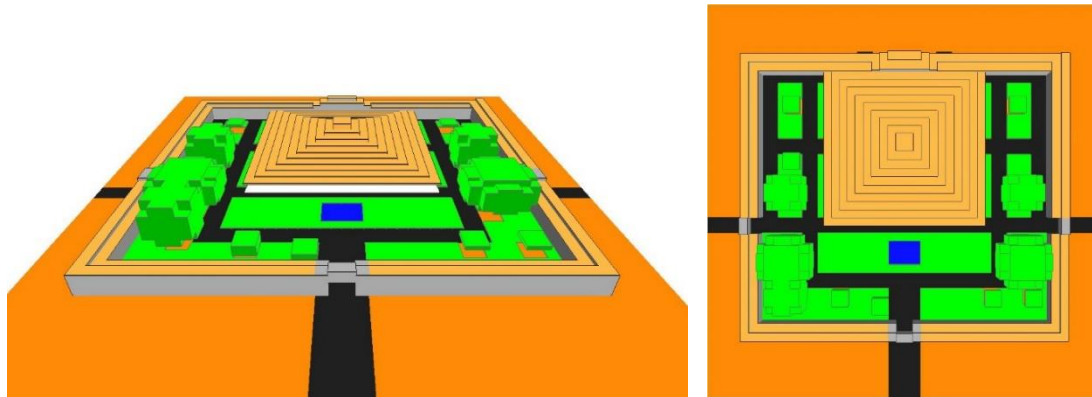
Terlihat bahwa suhu udara pada Titik 1 (area gerbang) adalah yang tertinggi dengan peningkatan sampai dengan 37°C. Sedangkan Titik 3 (area tengah pendopo) memiliki tren suhu yang relatif stabil pada 33-34°C, lalu area terdalam pendopo (Titik 4) mendapatkan suhu terendah dengan kisaran 32-33°C. Adapun data kecepatan angin yang didapatkan oleh alat ukur *Lutron* di Titik 2 adalah bervariasi dari 0 – 1.6 m/s dan bertiup dari arah selatan ke utara.

### ***Validasi Envi-met v4.0 pada Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran***

Penelitian akan menggunakan metode simulasi komputer dengan bantuan *software* Envi-met v4. Ketika menjalankan proses validasi, data dari pengukuran lapangan digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan seberapa tepat *software* Envi-met v4 tersebut mensimulasikan kejadian riilnya. Proses ini menjadi kunci apakah *software* Envi-met v4 dapat digunakan sebagai alat bantu penelitian atau tidak.



Validasi dimulai dengan memodelkan Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran sesuai kondisi nyatanya (eksisting) dalam Envi-met v4 seperti di bawah ini. Permodelan dikhususkan hanya pada area Kawasan Pendopo saja, bangunan-bangunan lain dalam Kompleks Keraton Mangkunegaran tidak disertakan pada simulasi ini.



Gambar 8. Model perspektif (kiri) dan tampak atas (kanan) Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran eksisting

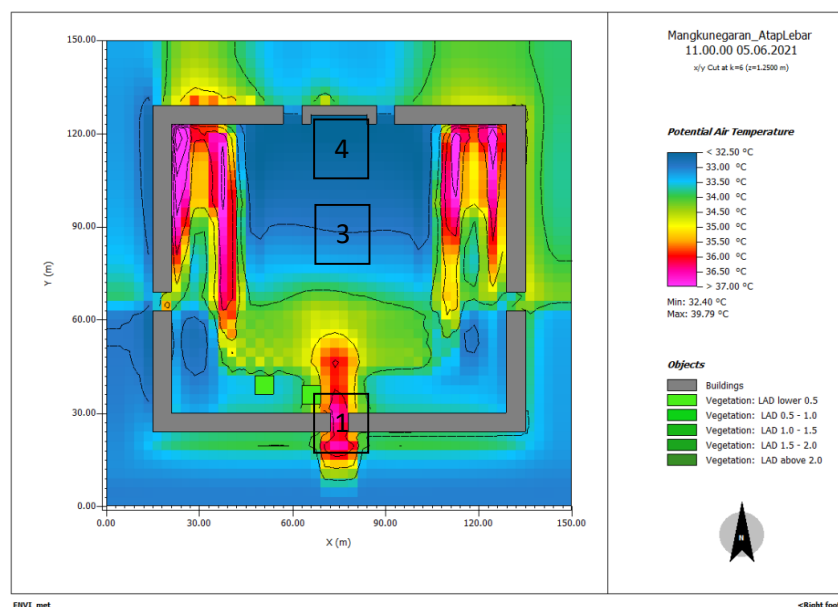
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

Kemudian, simulasi dijalankan dengan input data lingkungan seperti yang telah didapatkan pada tahap pengukuran lapangan sebelumnya pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Kondisi Lingkungan sekitar Pendopo Ageng Mangkunegaran

	Suhu Udara (luar)	Kecepatan Angin (rerata Titik 2)	Arah Angin
Nilai	27-38°C	0.8 m/s	Dari selatan

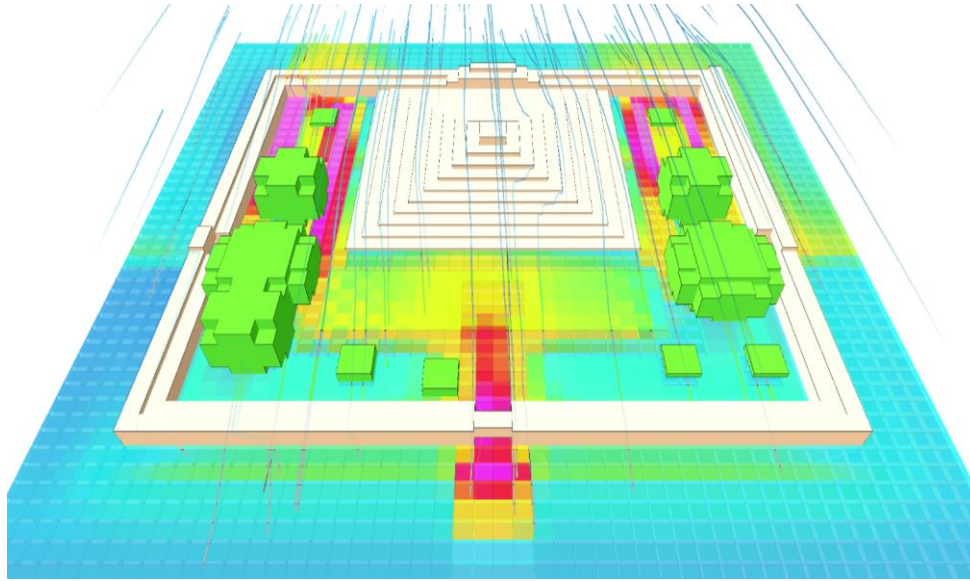
Kemudian, hasil simulasi akan diperbandingkan dengan data suhu udara yang telah diukur pada Titik 1, Titik 3 dan Titik 4. Jika hasil simulasi mendekati pengukuran lapangan dengan simpangan tidak lebih dari 5%, maka simulasi dapat dinyatakan valid.



Gambar 9. Hasil Simulasi Suhu Udara Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran Atap Lebar (eksisting)

(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

Hasil simulasi peta kontur suhu udara di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran eksisting ditunjukkan melalui gambar berikut :



Gambar 10. Rendering 3D Kontur Suhu Udara Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran Eksisting  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

Setelah simulasi dijalankan, kontur suhu udara seluruh model Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran yang diambil pada ketinggian alat ukur lapangan sebelumnya, 1.25 meter, ditampilkan oleh gambar diatas. Area gerbang selatan mendapatkan suhu udara tertinggi bersama dengan area sudut utara kawasan karena paparan matahari pukul 11.00 WIB yang terik dan adanya perkerasan aspal di lokasi tersebut. Adapun hasil ekstraksi data yang ada di Titik 1, Titik 3, dan Titik 4 dengan data pengukuran lapangan dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 2. Hasil validasi software Envi-met v4.0

	Titik 1	Titik 3	Titik 4
Pengukuran Lapangan (°C)	36.7	33.7	32.7
Hasil Simulasi (°C)	36.6	33.2	32.6
Simpangan (%)	0.27	1.48	0.3

(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

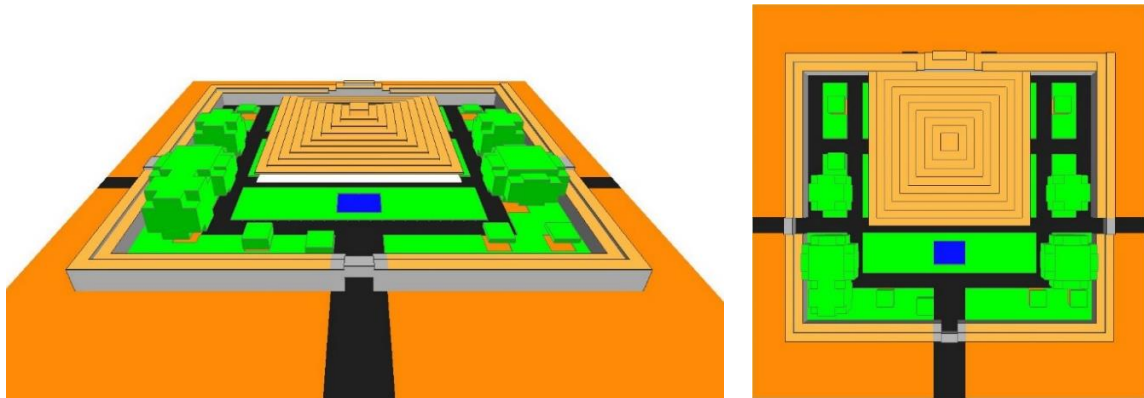
Berdasarkan table diatas, seluruh nilai simpangan pada titik-titik ukur menunjukkan nilai dibawah 5% dengan Titik 1 adalah 0.27%, Titik 3 sebesar 1.48%, dan Titik 4 terjadi simpangan sebesar 0.3%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *software* Envi-met v4 terbukti mampu digunakan untuk mensimulasikan kejadian suhu udara di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran.

#### ***Pengembangan Skenario Model Envi-met v4.0***

Setelah Envi-met v4 tervalidasi dengan baik, penelitian dilanjutkan dengan membangun skenario-skenario model untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut;

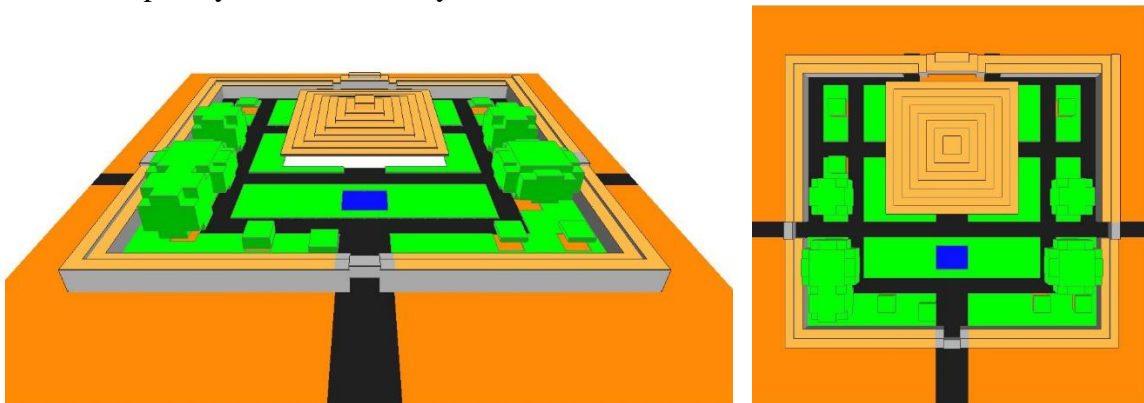
- a. Model Atap Lebar, merupakan model eksisting kawasan dan bangunan pendopo saat

ini yang atapnya telah diperlebar. Model ini menjadi acuan analisis hasil simulasi bagi model-model lain.



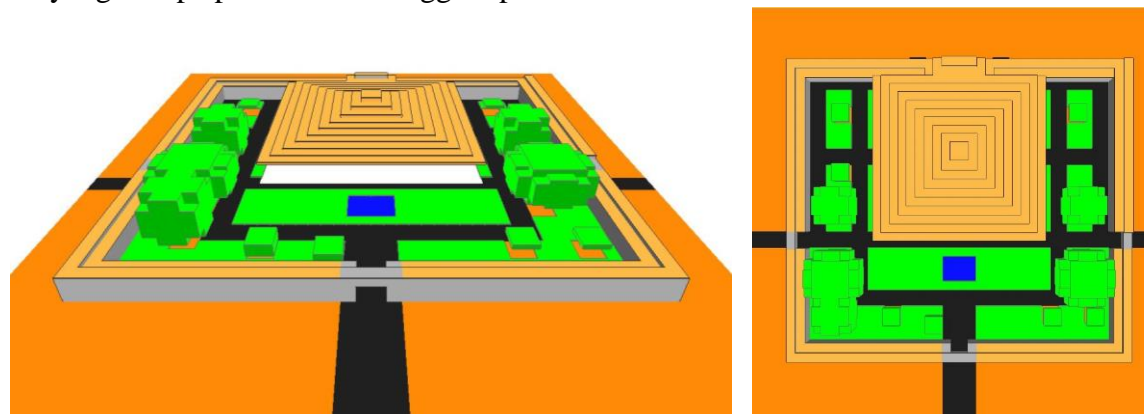
Gambar 11. Model Atap Lebar Perspektif (kiri) dan Tampak Atas (kanan)  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

- b. Model Atap Awal, adalah model desain pendopo mula-mula tanpa tambahan emperan, bertujuan untuk menguji pengaruh desain emperan tambahan Pendopo Mangkunegaran terhadap kenyamanan termalnya.



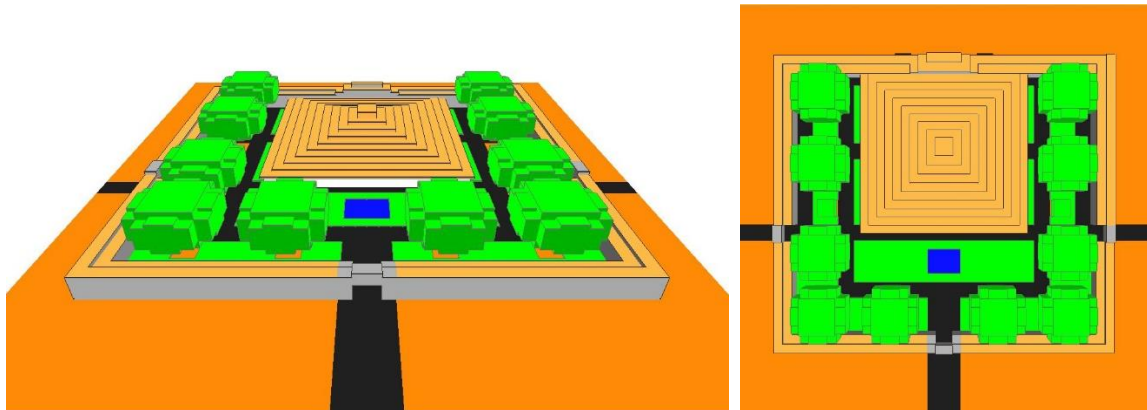
Gambar 12. Model Atap Awal Perspektif (kiri) dan Tampak Atas (kanan)  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

- c. Model Atap Tinggi, yaitu model pendopo eksisting (Model Atap Lebar) dengan atap yang dinaikkan setinggi 2 meter, untuk menguji pengaruh elemen bangunan pendopo yang berupa perubahan ketinggian peneduh.



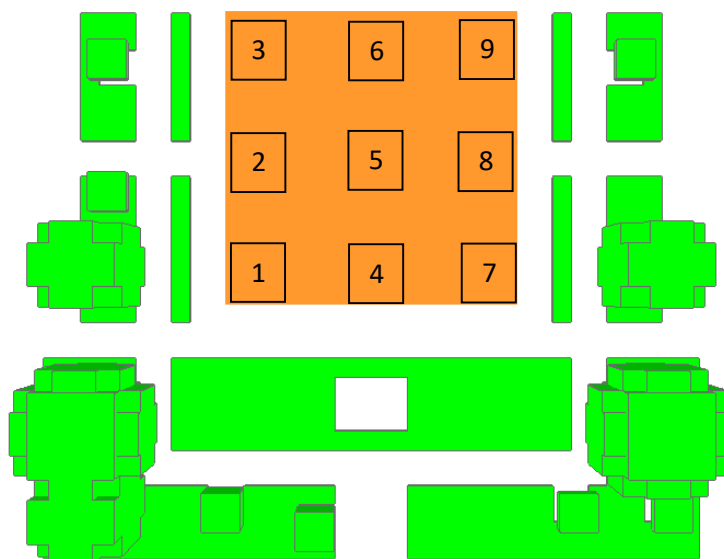
Gambar 13. Model Atap Tinggi perspektif (kiri) dan tampak atas (kanan)  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

- d. Model Iklim Mikro, adalah model desain lansekap dengan tambahan vegetasi perindang setinggi 15 meter disekeliling pendopo beserta air mancur setinggi 4 meter yang dipasang pada kolam air depan pendopo. Model ini digunakan untuk menguji apakah perubahan desain lansekap dan iklim mikro memiliki pengaruh termal di dalam area Pendopo Mangkunegaran.



Gambar 14. Model Iklim Mikro Perspektif (kiri) dan Tampak Atas (kanan)  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

Keempat model tersebut akan disimulasikan dan diperbandingkan dengan kondisi eksisting yang terbangun saat ini untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kenyamanan termal area pendopo. Sedangkan untuk mendapatkan nilai-nilai faktor lingkungannya, penelitian mengambil data numerik hasil simulasi pada 9 titik yang tersebar merata di area pendopo seperti gambar dibawah ini. Adapun waktu pengambilan data simulasi difokuskan pada saat pengukuran lapangan dilakukan, yaitu pada tanggal 5 Juni 2021 pukul 11.00 WIB dengan penambahan jangkauan 1 jam sebelum dan sesudahnya. Sehingga data yang dipanggil adalah data pukul 10.00, 11.00, dan 12.00 WIB pada tanggal 5 Juni 2021 di ketinggian 1,25 meter dari permukaan tanah.



Gambar 15. Lokasi Titik-Titik Pengambilan Data Numerik Faktor Lingkungan pada Bangunan Pendopo  
(Hasil Simulasi Peneliti, 2021)

Kesembilan titik diatas kemudian dicari nilai reratanya agar dapat mewakili kondisi-kondisi yang terdapat pada seluruh bagian pendopo di masing-masing model skenario. Nilai-nilai rerata tersebut kemudian disajikan dalam grafik untuk memperbandingkan kinerja faktor-faktor lingkungan termal antara satu model dengan model yang lainnya.

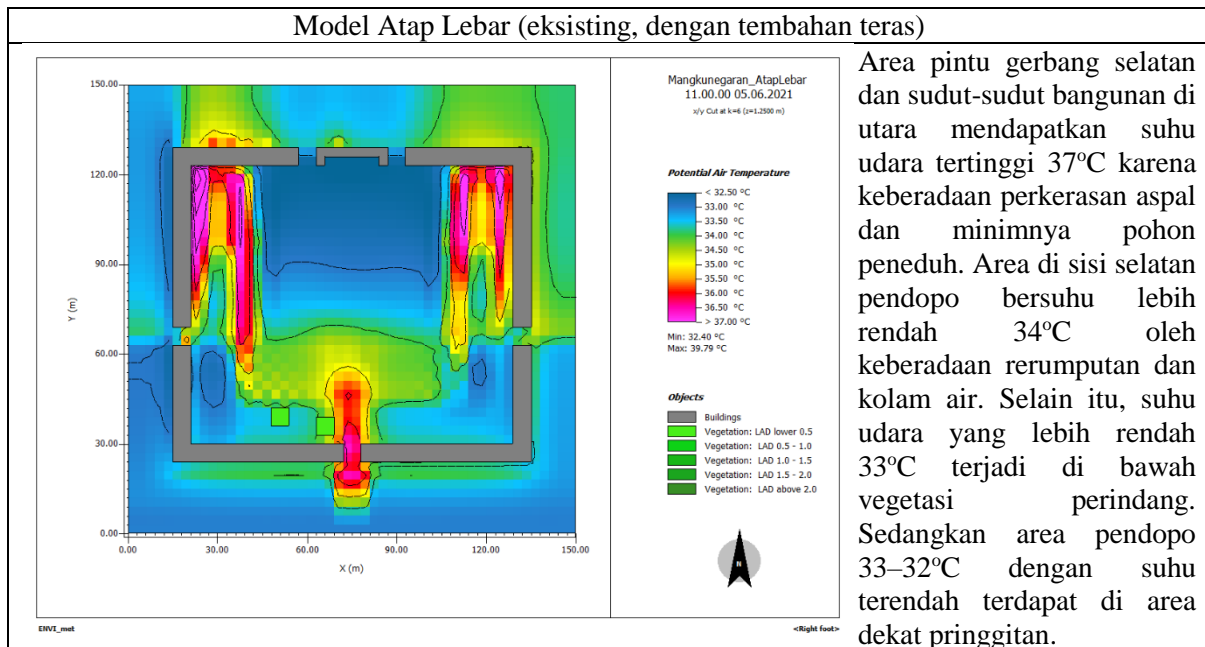
**Hasil Simulasi Envi-met v4**

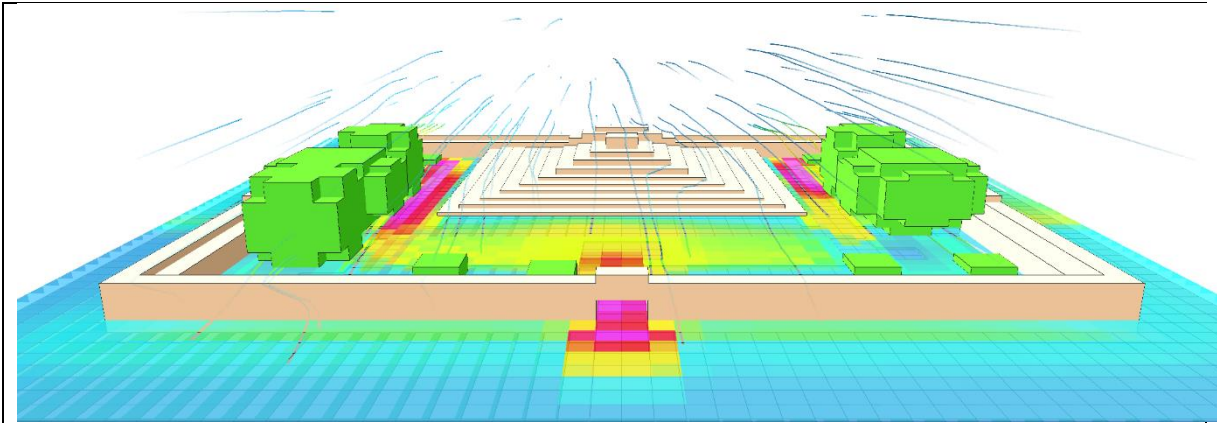
Simulasi seluruh model akan dijalankan dengan fokus aspek lingkungan kenyamanan termal menurut Fanger yang meliputi; suhu udara, kecepatan angin, suhu radiasi rerata, kelembaban udara, dan skala PMV (*Predicted Mean Vote*) sebagai indikator penentu kesimpulannya. Penelitian ini akan menyajikan hasil simulasi Envi-met v4 berupa gambar-gambar visual peta kontur yang diambil pada ketinggian 1,25meter dari permukaan tanah serta grafik-grafik komparasi data numerik yang disertai dengan analisis untuk menjabarkan kejadian-kejadian lingkungannya.

**Analisis Suhu Udara pada Masing-Masing Model**

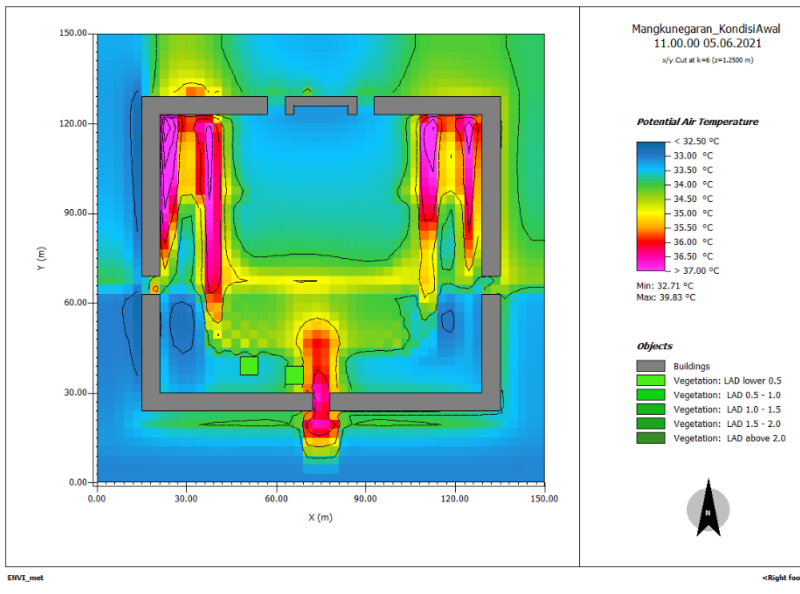
Simulasi dijalankan dengan input lingkungan identik seperti pada proses validasi sebelumnya agar dapat diperbandingkan hasilnya. Adapun hasil peta kontur suhu udara dengan skala warna yang telah disamakan pada masing-masing skenario model adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Skenario Permodelan Peta Kontur Suhu Udara dengan Skala Warna

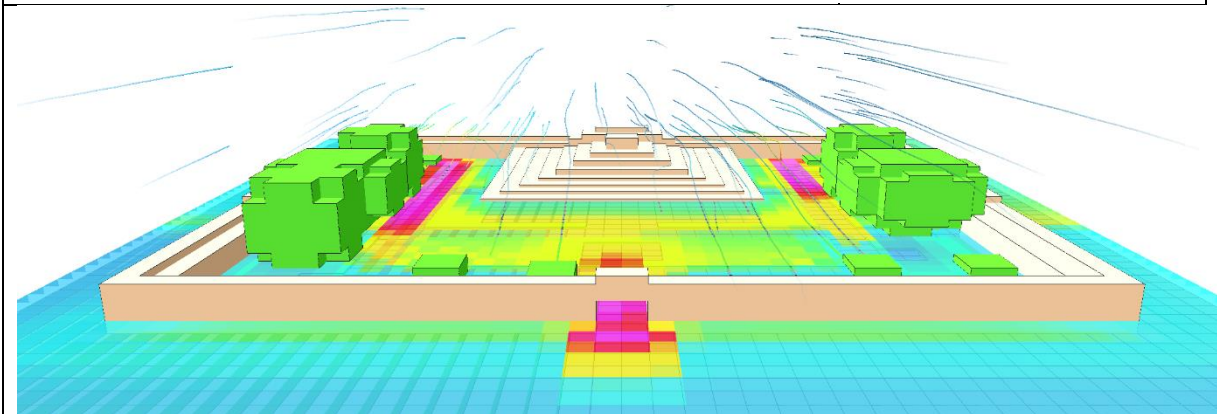




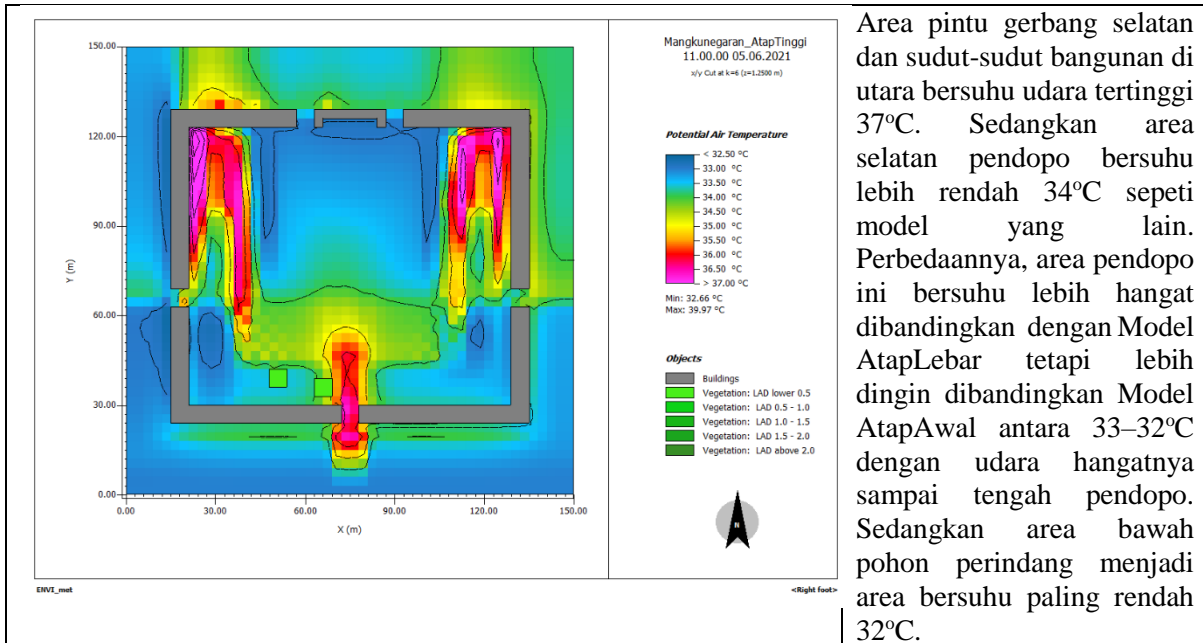
Model Atap Awal (desain semula, tanpa tambahan teras)



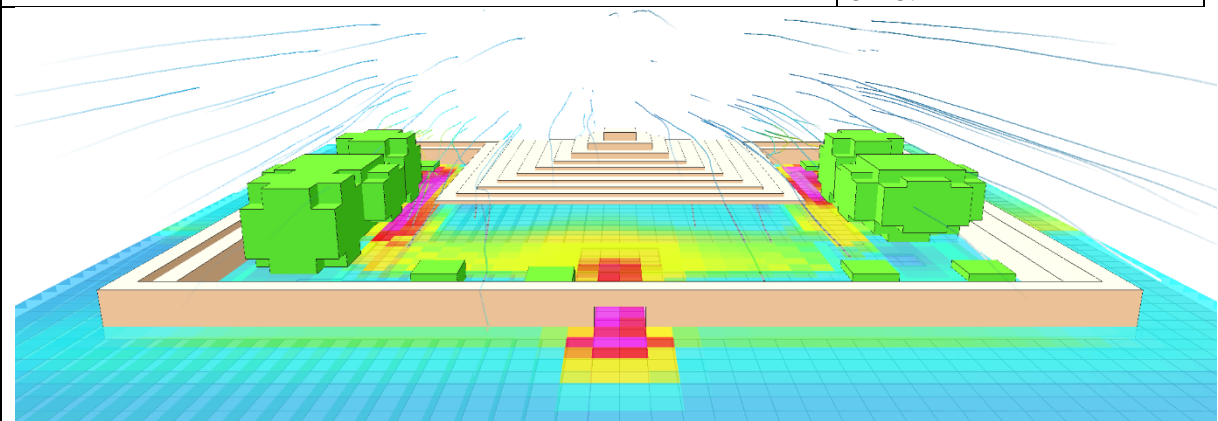
Area pintu gerbang selatan dan sudut-sudut bangunan di utara mendapatkan suhu udara tertinggi 37°C karena keberadaan perkerasan aspal dan minimnya pohon peneduh. Sedangkan area selatan pendopo bersuhu lebih rendah 34°C karena terdapat rerumputan dan kolam air. Kemudian, area pendopo mendapatkan suhu 33°C secara merata. Pada kasus ini, area bawah pohon perindang menjadi area bersuhu paling rendah 32°C.



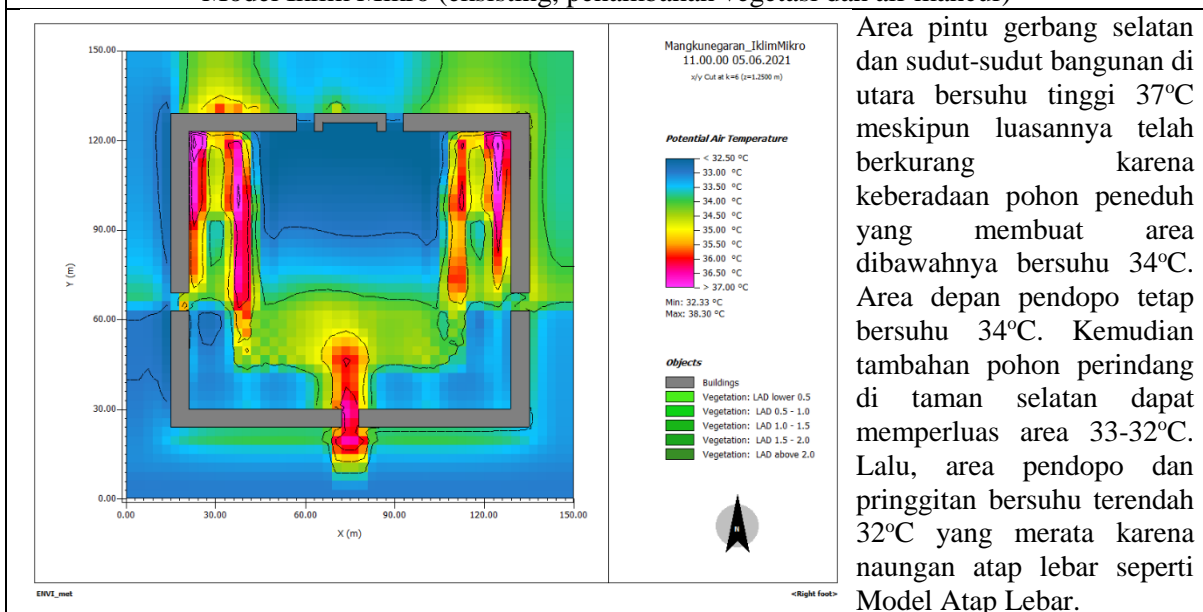
Model Atap Tinggi (eksisting, penambahan ketinggian atap 2meter)



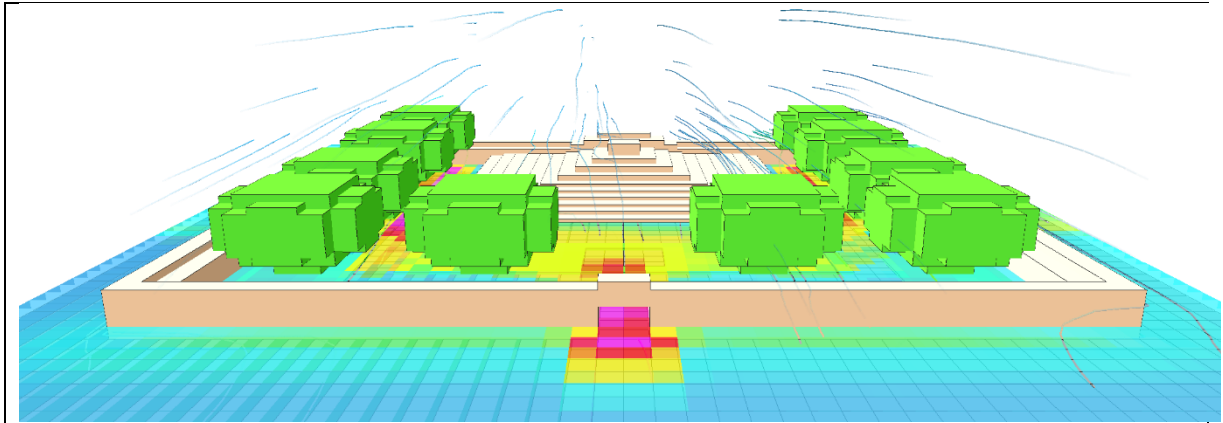
Area pintu gerbang selatan dan sudut-sudut bangunan di utara bersuhu udara tertinggi 37°C. Sedangkan area selatan pendopo bersuhu lebih rendah 34°C seperti model yang lain. Perbedaannya, area pendopo ini bersuhu lebih hangat dibandingkan dengan Model AtapLebar tetapi lebih dingin dibandingkan Model AtapAwal antara 33–32°C dengan udara hangatnya sampai tengah pendopo. Sedangkan area bawah pohon perindang menjadi area bersuhu paling rendah 32°C.



Model Iklim Mikro (eksisting, penambahan vegetasi dan air mancur)



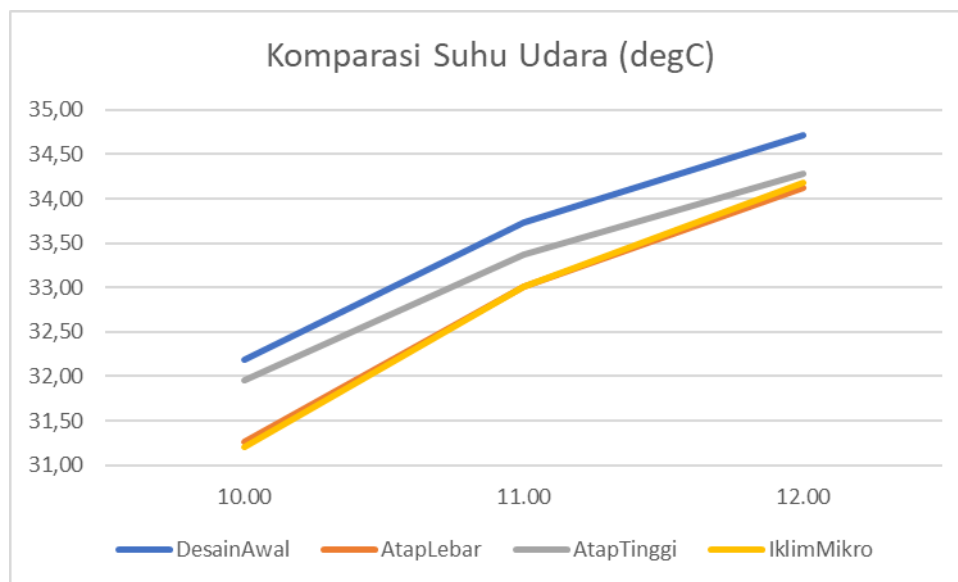
Area pintu gerbang selatan dan sudut-sudut bangunan di utara bersuhu tinggi 37°C meskipun luasannya telah berkurang karena keberadaan pohon peneduh yang membuat area dibawahnya bersuhu 34°C. Area depan pendopo tetap bersuhu 34°C. Kemudian tambahan pohon perindang di taman selatan dapat memperluas area 33–32°C. Lalu, area pendopo dan pringgitan bersuhu terendah 32°C yang merata karena naungan atap lebar seperti Model Atap Lebar.



(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Secara visual, perbandingan peta kontur suhu udara diatas menunjukkan area suhu udara rendah pada pendopo yang lebih luas terdapat pada Model Atap Lebar dan Model Iklim Mikro. Lalu, Model AtapTinggi mendapatkan suhu udara yang lebih hangat pada area tengah pendopo walaupun sisi-sisi tepian barat-timur-utaranya bersuhu lebih rendah. Di sisi lain, Model Atap Awal tidak menghasilkan suhu udara serendah ketiga model yang lain. Sebagai tambahan, Model Iklim Mikro mampu memberikan suhu udara rendah yang merata pada area taman selatan serta mengurangi suhu tinggi pada area sudut-sudut sisi barat laut dan timur laut kawasan.

Kemudian, penelitian mengambil data numerik suhu udara rerata dari sembilan titik pada masing-masing model kajian dan menuangkannya dalam grafik dibawah ini. Perlu diingat bahwa pembacaan grafik mengacu pada kondisi eksisting dimana bangunan pendopo telah bertambah luas dengan adanya emperan disekelilingnya.



Gambar 16. Grafik Komparasi Suhu Udara di Area Pendopo pada Masing-masing Model  
(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

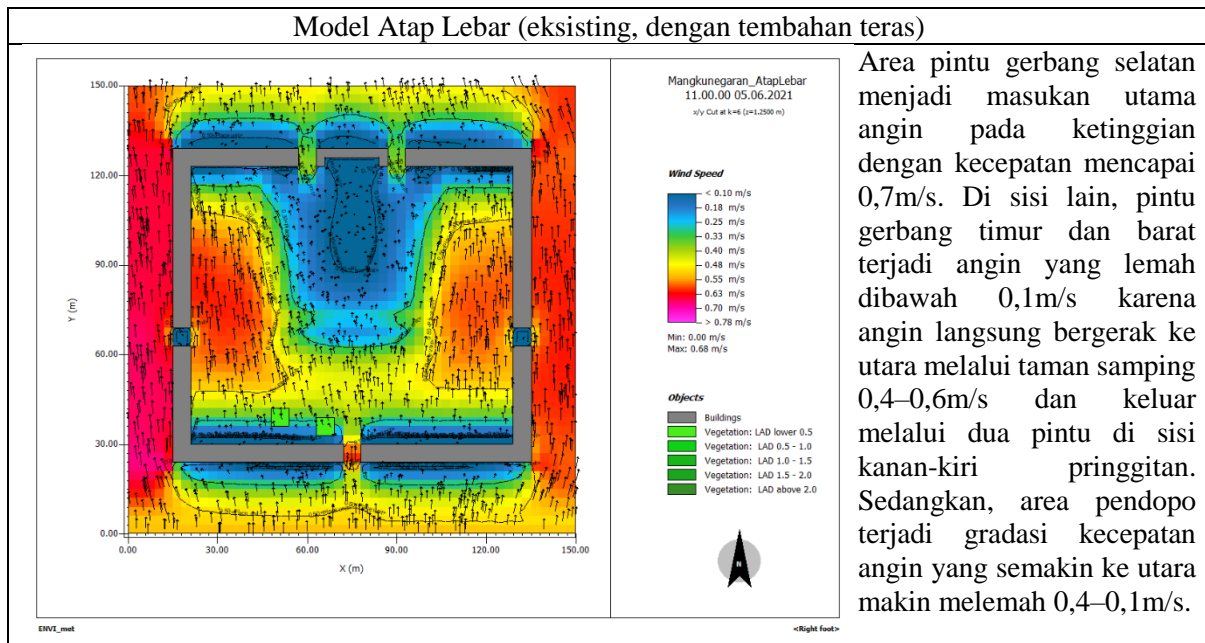


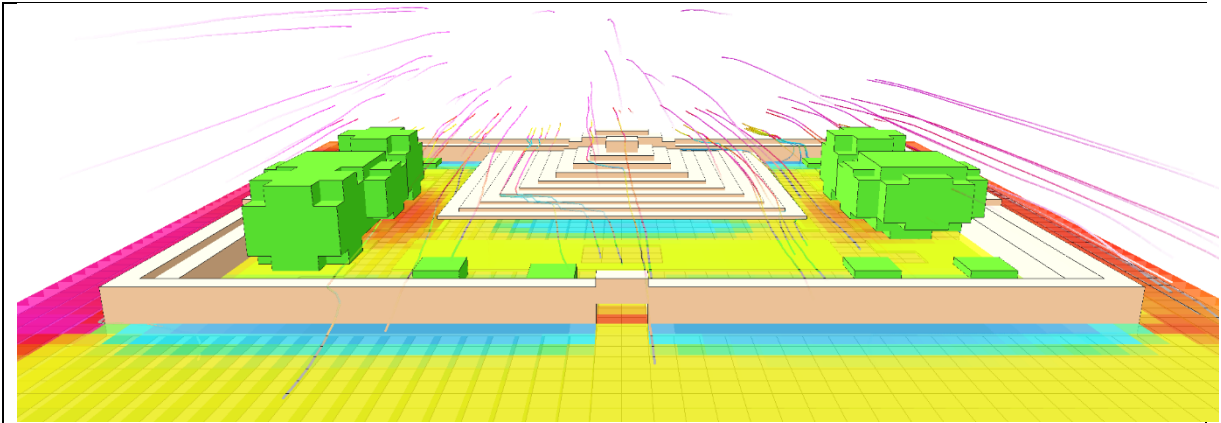
Grafik komparasi diatas menunjukkan bahwa Model Atap Lebar atau kondisi eksisting telah berada pada tingkat suhu udara yang rendah. Bangunan pendopo Model Atap Lebar yang sama dibangun pada Model Iklim Mikro dengan penambahan vegetasi perindang dan air mancur di bagian kolam air. Berdasarkan garfik diatas, garis suhu udara Model Iklim Mikro berdempetan dengan Model Atap Lebar menunjukkan bahwa perubahan lansekap tersebut tidak berdampak banyak terhadap kejadian suhu udara pendopo. Kemudian, ketika Model Atap Lebar ditinggikan sebanyak 2 meter (Model Atap Tinggi), suhu udara pendopo mengalami peningkatan terutama saat matahari condong di timur (pukul 10.00) oleh efek pembayangan yang berkurang. Sedangkan saat menuju pukul 12.00 (posisi zenit) suhu udara pendopo semakin mendekati Model Atap Lebar karena pembayangan pendopo jatuh tegak lurus ke bawah. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa tren ini akan berlanjut ketika matahari condong ke barat, dimana suhu udara akan meningkat lagi. Di sisi lain, Model Desain Awal saat obyek pendopo belum mendapatkan tambahan emperan seperti saat ini mendapatkan suhu udara tertinggi terus-menerus karena luasan atap dan pembayangan area pendopo yang lebih kecil.

**Analisis Kecepatan Angin pada Masing-Masing Model**

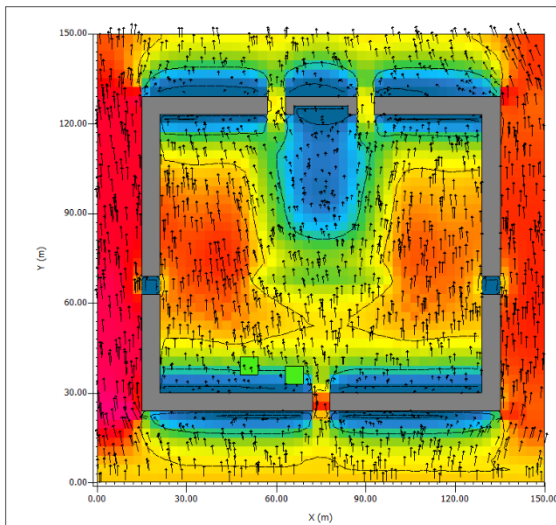
Hasil simulasi berupa peta kontur kecepatan angin pada masing-masing skenario model adalah sebagai berikut. Sebagai pelengkap, arah angin yang bertiup dari selatan ke utara ditunjukkan pula dengan simbol panah-panah kecil berwarna hitam.

Tabel 4. Skenario Permodelan Peta Kontur Kecepatan Angin



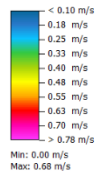


Model Atap Awal (desain semula, tanpa tambahan teras)



Mangkunegaran\_KondisiAwal  
11.00.00 05.06.2021  
x/y Cut at k=4 (z=1.2500 m)

Wind Speed



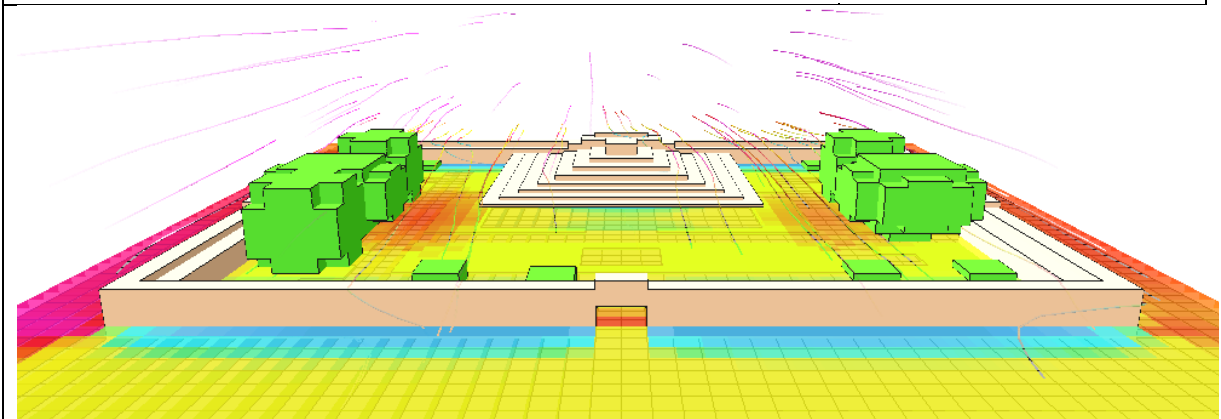
Min: 0.00 m/s  
Max: 0.68 m/s

Objects

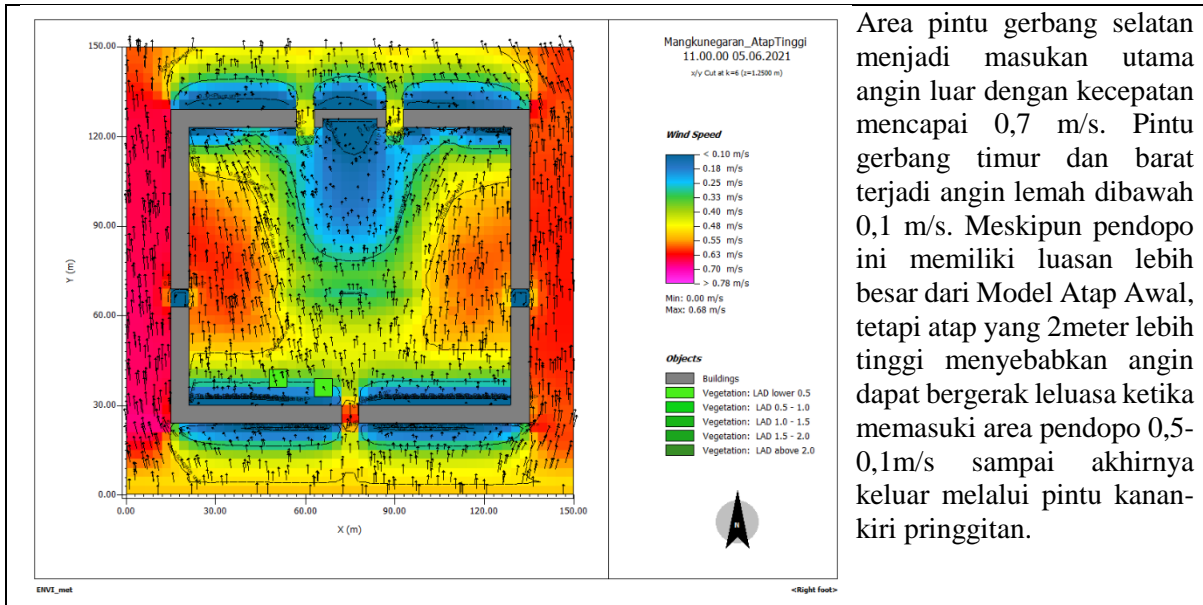
- Buildings
- Vegetation: LAD lower 0.5
- Vegetation: LAD 0.5 - 1.0
- Vegetation: LAD 1.0 - 1.5
- Vegetation: LAD 1.5 - 2.0
- Vegetation: LAD above 2.0



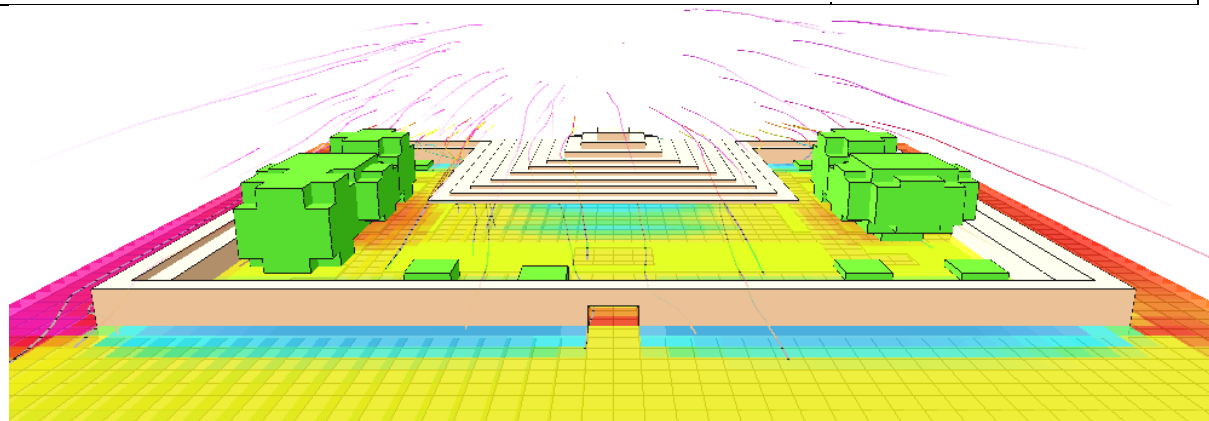
Sama seperti model yang lain, area pintu gerbang selatan menjadi masukan utama angin luar pada ketinggian 1,25meter dengan kecepatan mencapai 0,7m/s. Pintu gerbang timur dan barat terjadi angin lemah dibawah 0,1m/s. Perbedaan terletak pada atap pendopo yang lebih kecil sehingga menyebabkan angin lebih leluasa dan lebih cepat 0,5-0,1m/s memasuki area pendopo sampai akhirnya keluar melalui pintu utara di kanan-kiri pringgitan.



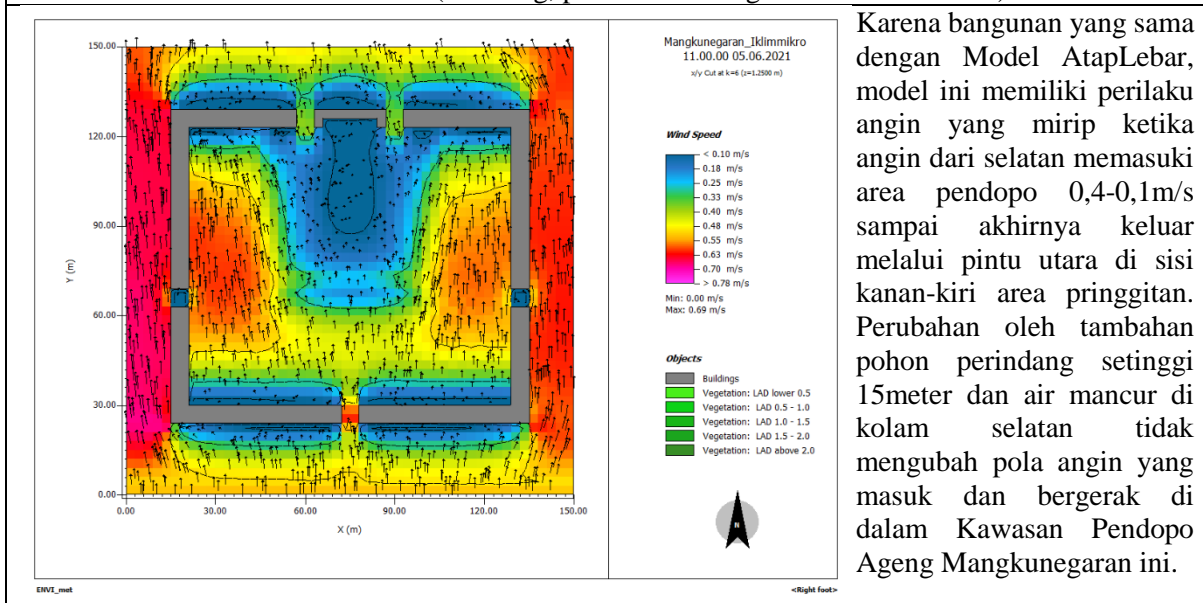
Model Atap Tinggi (eksisting, penambahan ketinggian atap 2 meter)



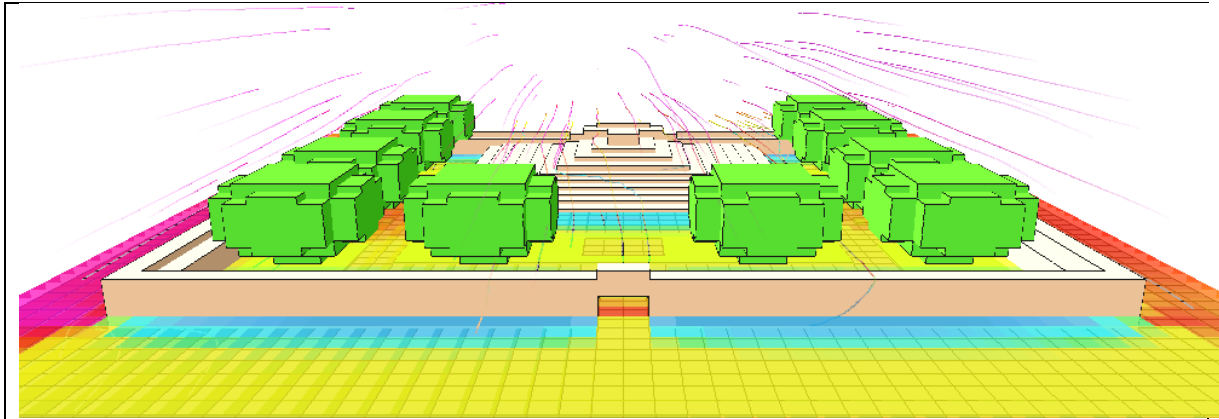
Area pintu gerbang selatan menjadi masukan utama angin luar dengan kecepatan mencapai 0,7 m/s. Pintu gerbang timur dan barat terjadi angin lemah dibawah 0,1 m/s. Meskipun pendopo ini memiliki luasan lebih besar dari Model Atap Awal, tetapi atap yang 2meter lebih tinggi menyebabkan angin dapat bergerak leluasa ketika memasuki area pendopo 0,5-0,1m/s sampai akhirnya keluar melalui pintu kanan-kiri pringgitan.



Model IklimMikro (eksisting, penambahan vegetasi dan air mancur)

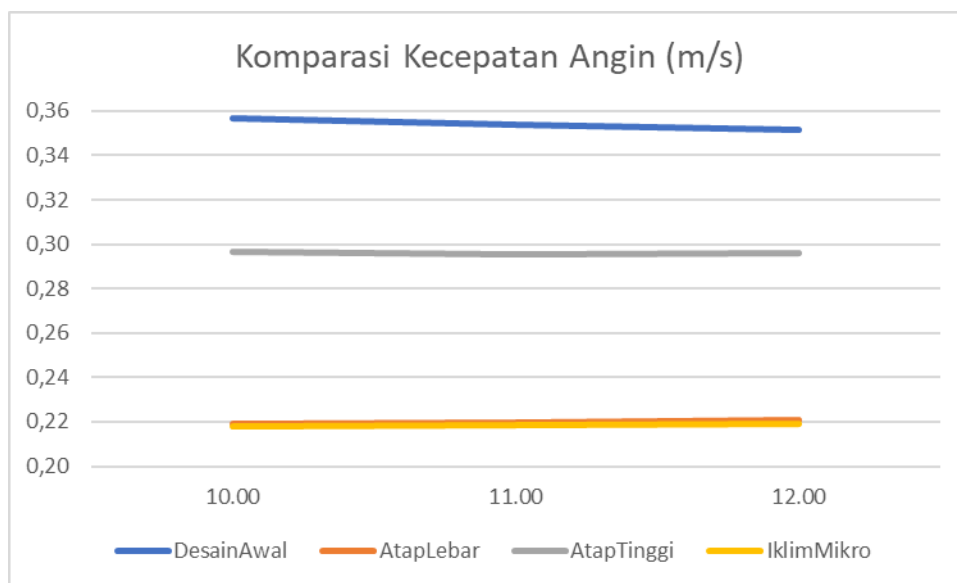


Karena bangunan yang sama dengan Model AtapLebar, model ini memiliki perilaku angin yang mirip ketika angin dari selatan memasuki area pendopo 0,4-0,1m/s sampai akhirnya keluar melalui pintu utara di sisi kanan-kiri area pringgitan. Perubahan oleh tambahan pohon perindang setinggi 15meter dan air mancur di kolam selatan tidak mengubah pola angin yang masuk dan bergerak di dalam Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran ini.



(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Berdasarkan analisis diatas, kecepatan angin pada area Pendopo Mangkunegaran ditentukan oleh luasan dan ketinggian atap pendopo. Atap yang semakin kecil dan semakin tinggi akan meneruskan angin ke dalam area pendopo secara leluasa sehingga menghasilkan kecepatan angin yang lebih kencang. Di sisi lain, perubahan lansekap dengan penambahan vegetasi perindang setinggi 15 meter tidak memiliki pengaruh terhadap kecepatan maupun pola angin di area pendopo karena tajuk vegetasi tersebut berada pada ketinggian lebih dari 1,25 meter sehingga tidak menjadi penghalang bagi angin untuk masuk ke area pendopo. Untuk memperjelas kejadian kecepatan angin pada masing-masing model, data hasil ekstraksi Envi-met v4 disusun dalam grafik dibawah ini.



Gambar 17. Grafik Komparasi Kecepatan Angin di Area Pendopo pada Masing-masing Model  
(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

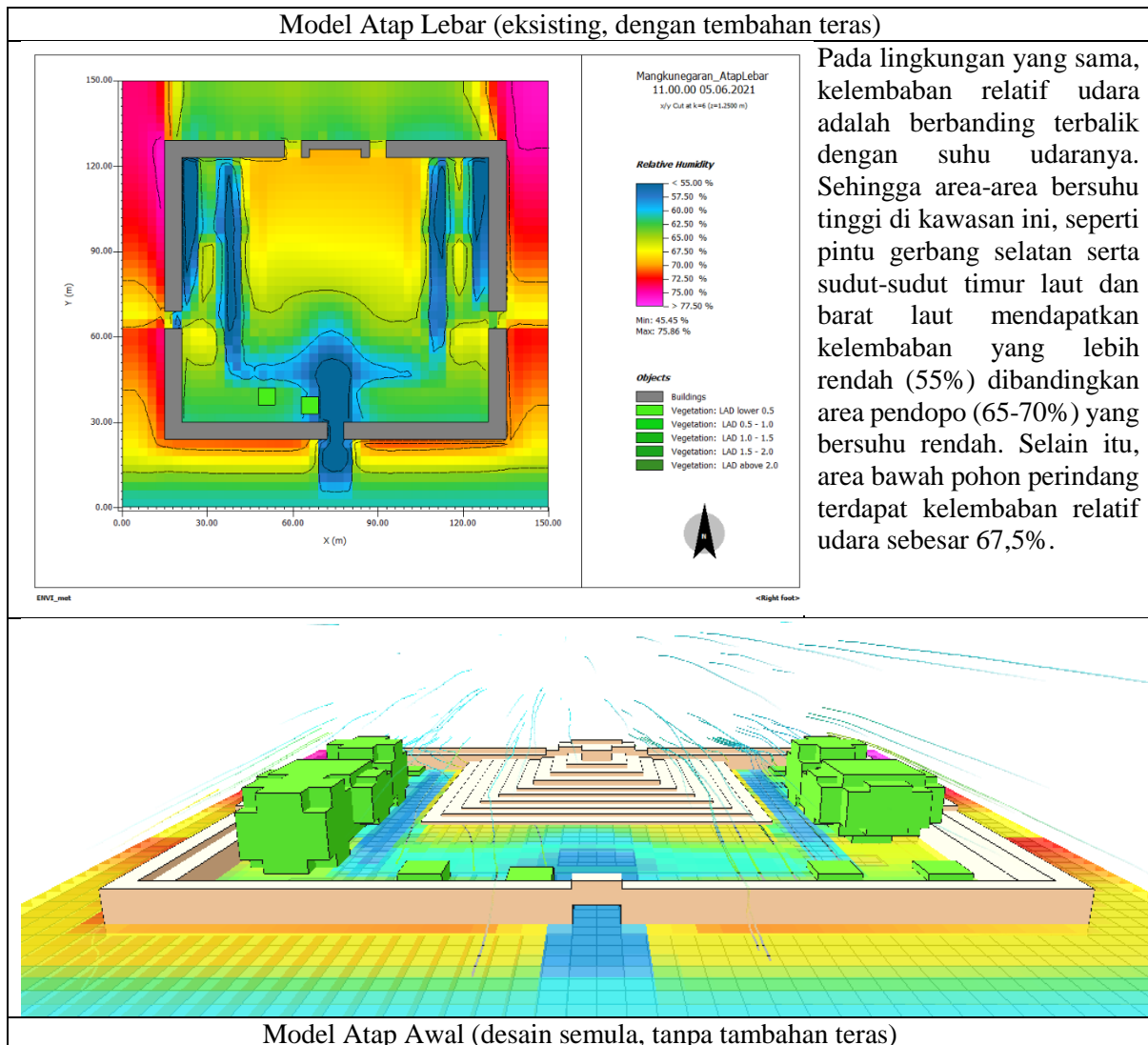
Grafik diatas memperlihatkan perbedaan kecepatan angin dalam area pendopo pada masing-masing model kajian. Model Desain Awal memiliki kecepatan angin tertinggi antara 0,35-0,36 m/s karena adanya area pendopo yang lebih sempit membuat hambatan angin berkurang. Kemudian peninggian atap 2 meter pada Model Atap Tinggi membuat ruang bawah atap pendopo menjadi lebih luas sehingga menyebabkan peningkatan kecepatan angin menjadi 0,3 m/s. Sedangkan, geometri atap pendopo yang sama pada Model Iklim Mikro dengan model

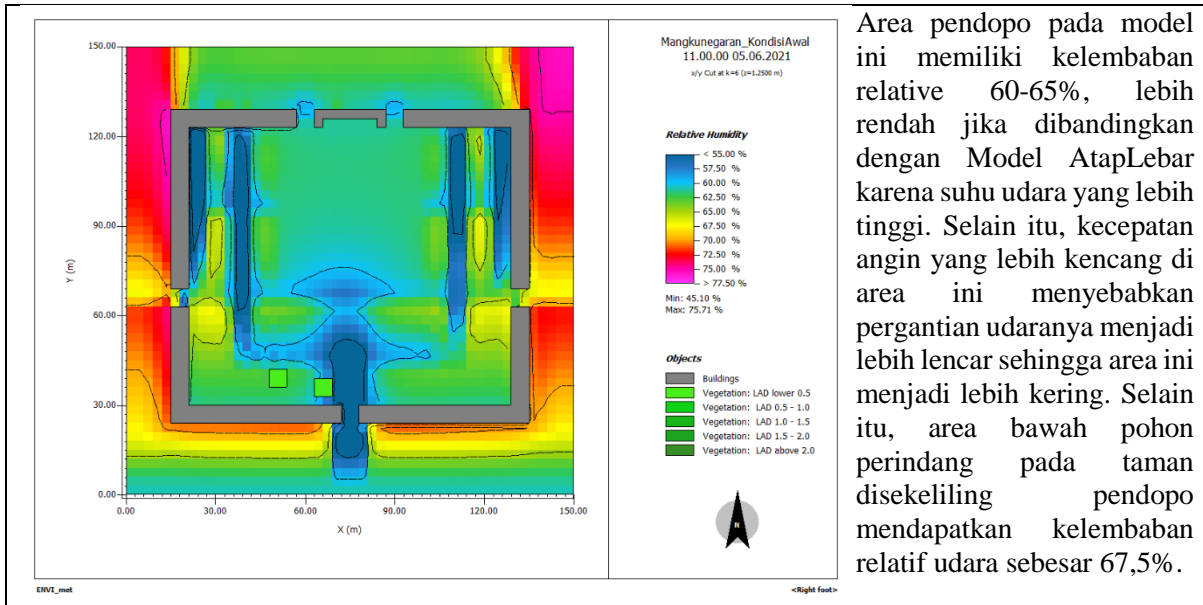
eksisting Atap Lebar menyebabkan pergerakan dan kecepatan angin yang mirip pada kedua kasus, yaitu 0,22 m/s.

**Analisis Kelembaban Relatif pada Masing-masing Model**

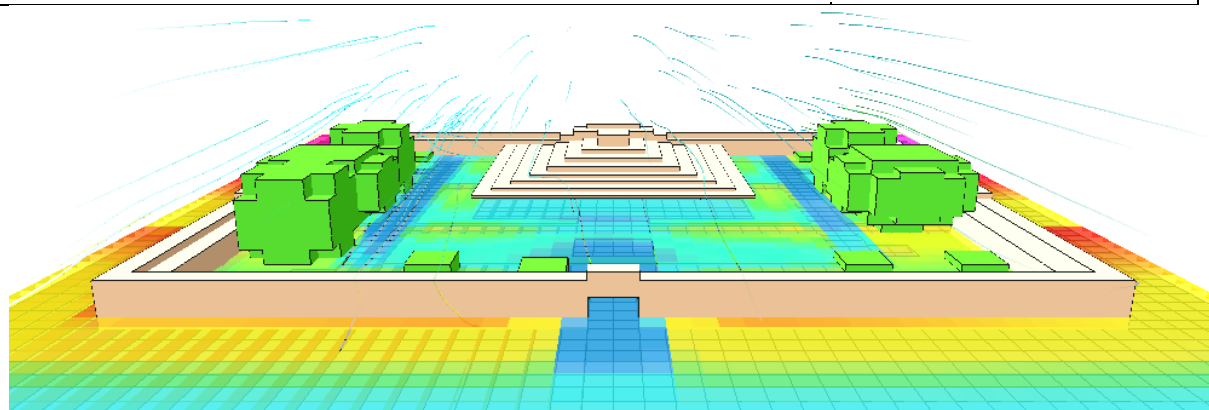
Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan model-model bangunan pendopo terhadap nilai kelembaban relatifnya, terutama ketika terjadi penambahan jumlah vegetasi perindang serta air mancur di sekitar pendopo yang secara teoritis dapat meningkatkan kadar uap air dalam udara dan menciptakan ketidaknyamanan termal.

Tabel 5. Simulasi Permodelan untuk Menentukan Kelembaban Relatif

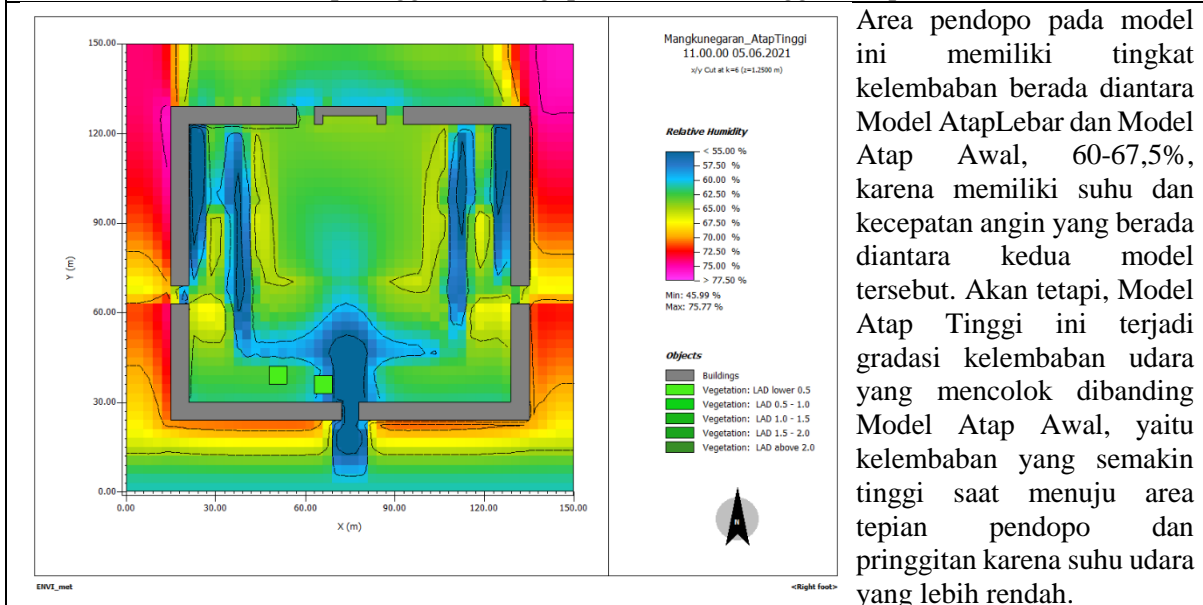




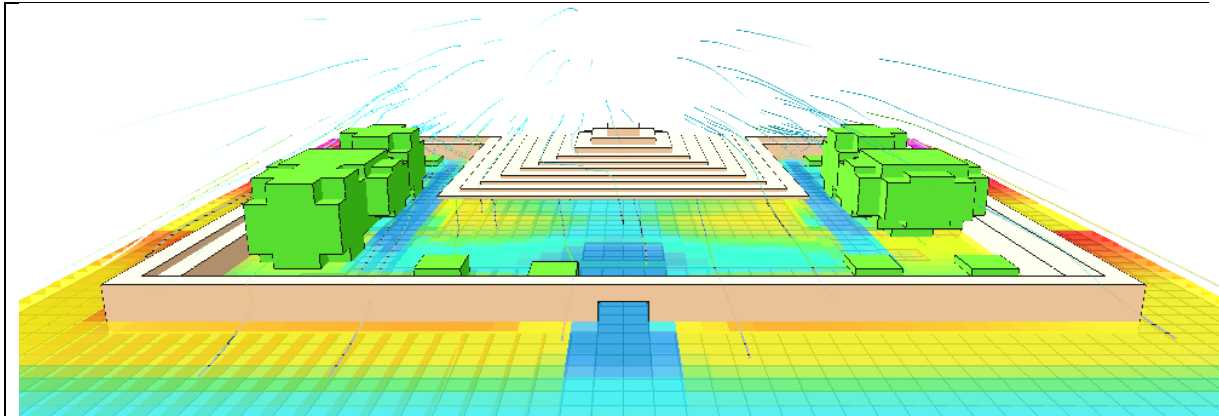
Area pendopo pada model ini memiliki kelembaban relative 60-65%, lebih rendah jika dibandingkan dengan Model AtapLebar karena suhu udara yang lebih tinggi. Selain itu, kecepatan angin yang lebih kencang di area ini menyebabkan pergantian udaranya menjadi lebih lancar sehingga area ini menjadi lebih kering. Selain itu, area bawah pohon perindang pada taman disekeliling pendopo mendapatkan kelembaban relatif udara sebesar 67,5%.



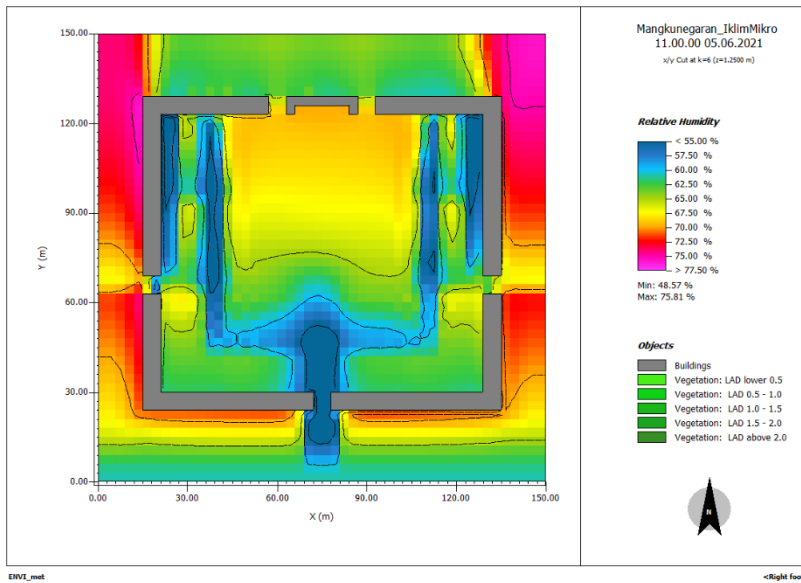
Model Atap Tinggi (eksisting, penambahan ketinggian atap 2 meter)



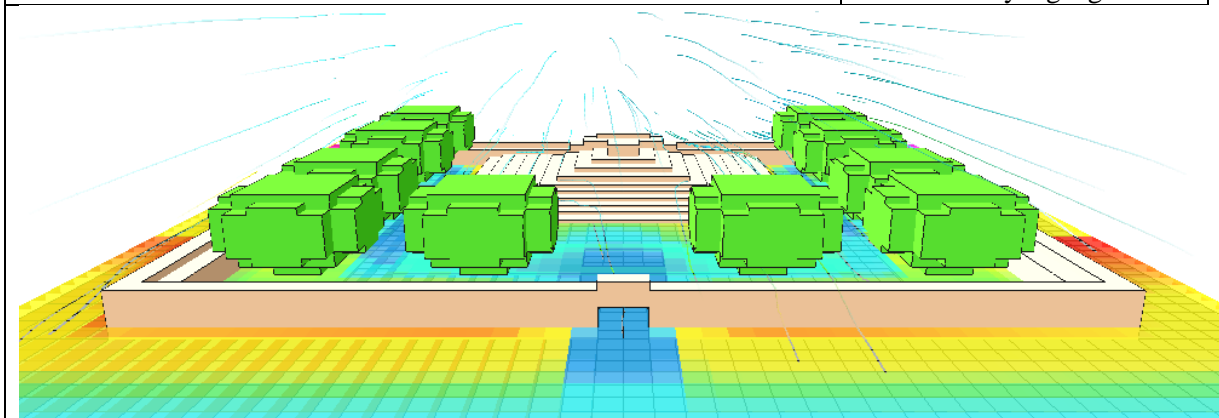
Area pendopo pada model ini memiliki tingkat kelembaban berada diantara Model AtapLebar dan Model Atap Awal, 60-67,5%, karena memiliki suhu dan kecepatan angin yang berada diantara kedua model tersebut. Akan tetapi, Model Atap Tinggi ini terjadi gradasi kelembaban udara yang mencolok dibanding Model Atap Awal, yaitu kelembaban yang semakin tinggi saat menuju area tepian pendopo dan pringgitan karena suhu udara yang lebih rendah.



Model Iklim Mikro (eksisting, penambahan vegetasi dan air mancur)



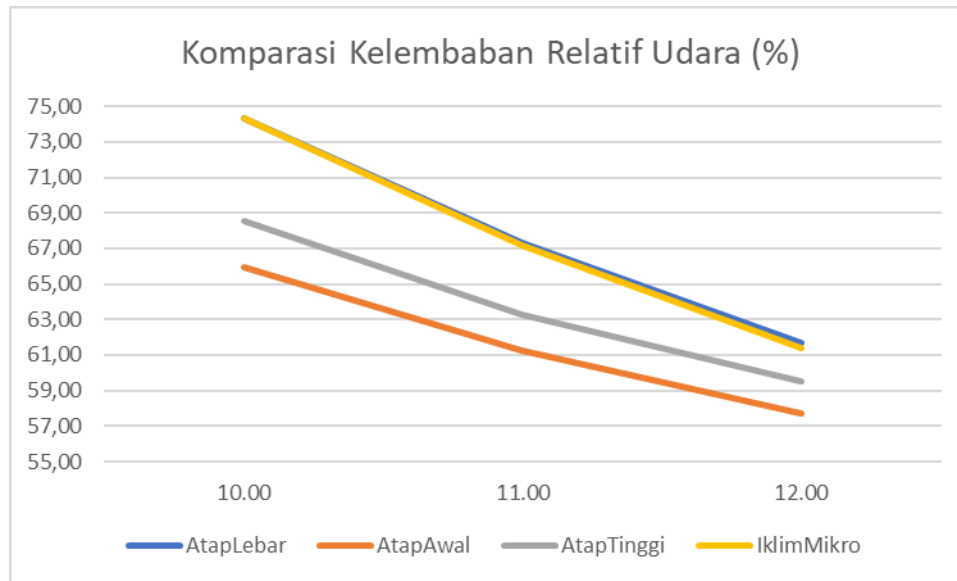
Secara teori, penambahan elemen vegetasi dan air mancur di kolam air sisi selatan pendopo akan berdampak pada peningkatan kadar uap air dalam udara. Meskipun demikian, gambar peta kontur disamping ini tidak menunjukkan fenomena tersebut. Pola kelembaban relative di pendopo serupa dengan Model AtapLebar, 65-70%. Area kawasan yang luas dan pergerakan udara yang lancar menyebabkan tidak ada perubahan kelembaban yang signifikan.



(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Dengan memperhatikan hasil simulasi diatas, dapat disimpulkan bahwa perubahan kelembaban udara di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran lebih dipengaruhi oleh suhu udara dan kecepatan angin yang terjadi di setiap titik. Jika suhu udara dan kecepatannya meningkat, maka kelembaban udara akan turun. Sedangkan perubahan tata letak dan penambahan vegetasi serta air mancur tidak banyak memberikan dampak peningkatan kelembaban udara. Walaupun demikian, penelitian perlu mendalami fenomena ini lebih lanjut dengan menjalankan simulasi secara penuh selama 24 jam dengan skenario kecepatan angin yang berubah-ubah untuk

mendapatkan kesimpulan menyeluruh mengenai kejadian kelembaban udara di kawasan ini. Untuk melengkapi analisis ini, data numerik kelembaban udara rerata pada sembilan titik area pendopo diambil dan disajikan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 18. Grafik Komparasi Kelembaban Relatif Udara di Area Pendopo pada Masing-masing Model  
(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

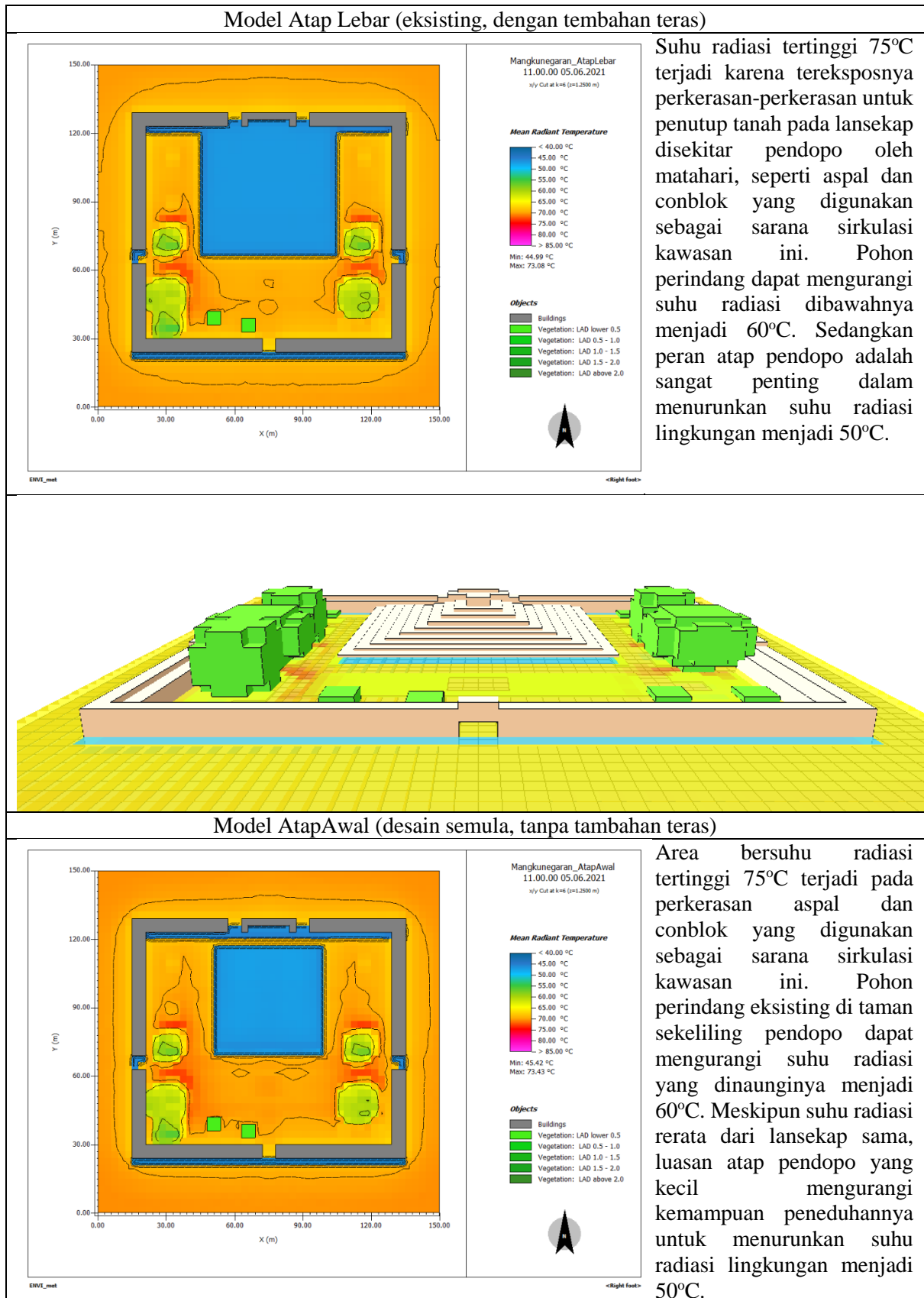
Sesuai dengan perilaku hariannya, saat cuaca cerah nilai kelembaban relatif selalu lebih tinggi di pagi hari dibandingkan siang hari karena kenaikan suhu udara menyebabkan udara mengembang dan udara dapat menampung uap air lebih banyak. Seluruh model diatas mengikuti tren tersebut dengan kecenderungan garis yang menurun dan saling mendekati pada siang hari. Nilai kelembaban tertinggi didapatkan oleh Model Atap Lebar dan Iklim Mikro diantara 62-74% karena perilaku termal keduanya yang mirip pada aspek kecepatan angin dan suhu udara sebelumnya. Perubahan tata lansekap dengan penambahan vegetasi perindang dan air mancur pada Model Iklim Mikro tidak menyebabkan kelembaban udaranya meningkat. Hal ini dapat terjadi karena lingkungan pendopo yang luas dan pergantian udara area pendopo yang terus terjadi. Di sisi lain, seiring dengan kenaikan suhu area pendoponya, kelembaban relatif pada Model Atap Tinggi dan Atap Awal pun menjadi lebih rendah seperti tergambar pada grafik diatas dengan Model Atap Awal memiliki kelembaban relatif yang paling rendah antara 58-66%.

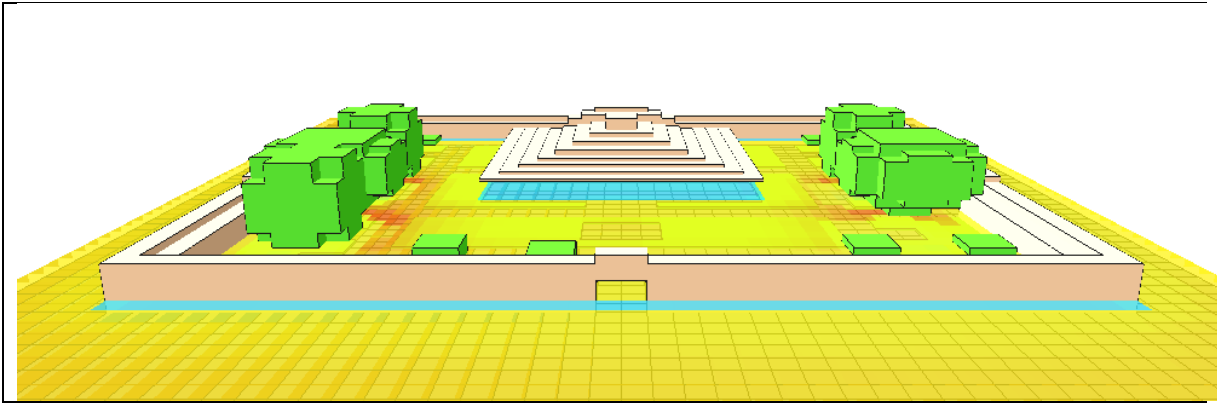
### ***Analisis Suhu Radiasi Rerata pada Masing-masing Model***

Suhu radiasi rerata adalah suhu radiasi imajiner yang dihasilkan dari permukaan-permukaan benda disekitar obyek kajian. Faktor ini seringkali menjadi faktor penentu kedua setelah suhu udara dalam menciptakan kenyamanan termal, terutama dengan adanya sumber kalor yang besar seperti sinar matahari siang hari. Untuk mendapatkan besaran pengaruhnya, penelitian ini memasukkan pertimbangan simulasi suhu radiasi rerata lingkungan seperti di bawah ini.

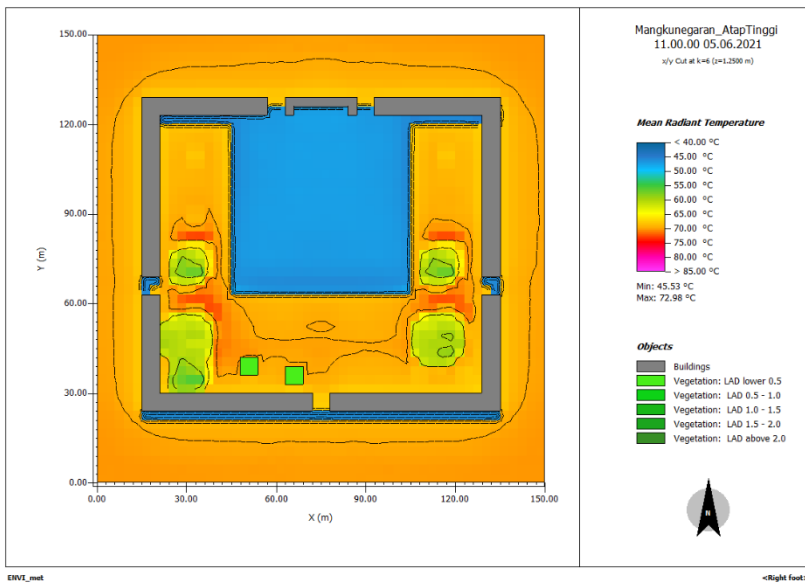


Tabel 6. Permodelan Simulasi Analisis Suhu Radiasi Rerata

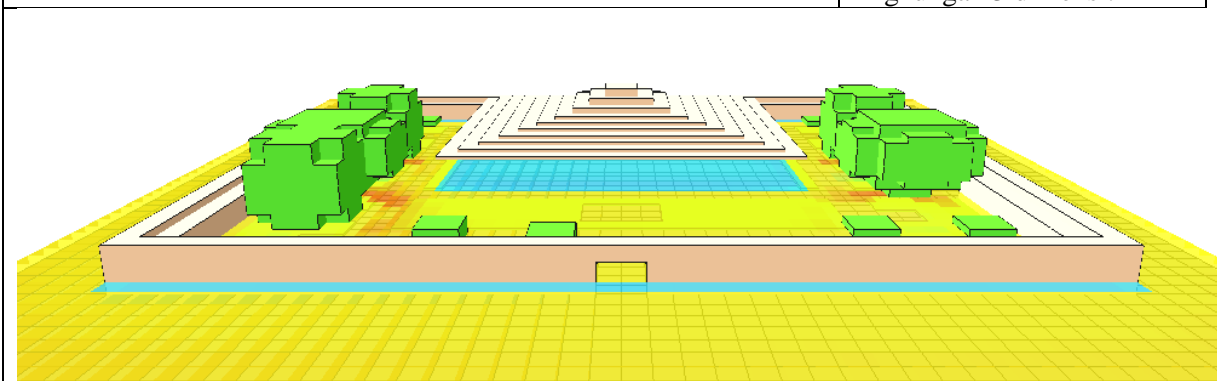




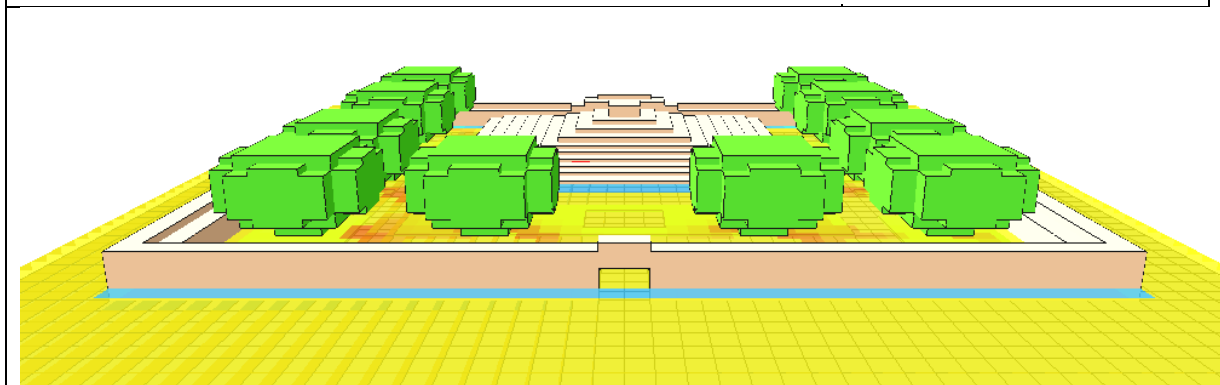
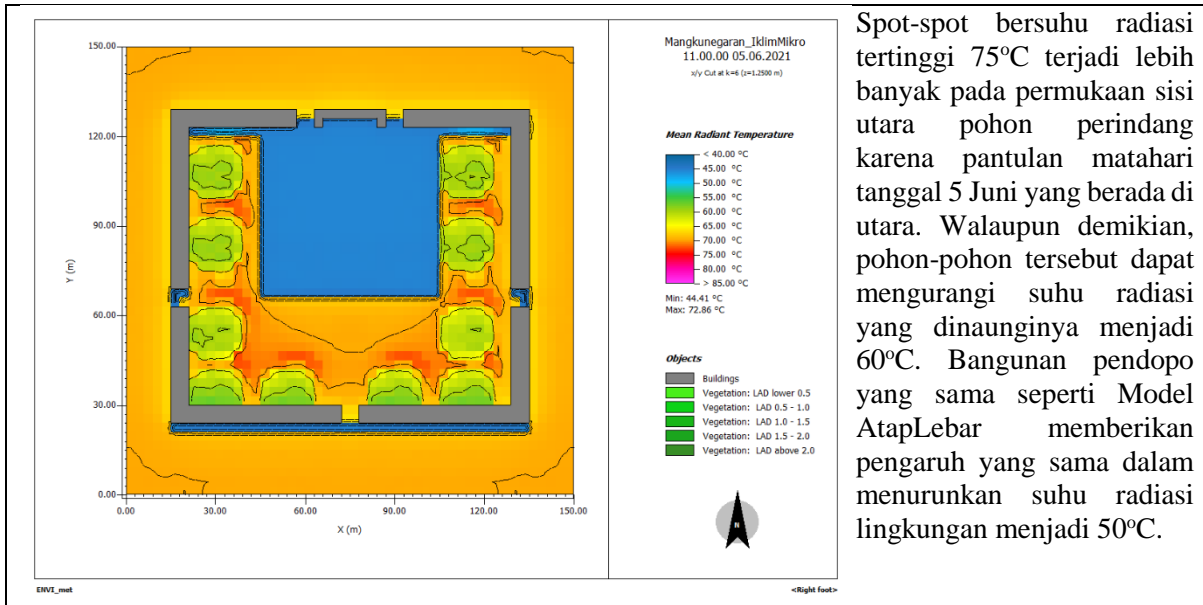
Model AtapTinggi (eksisting, penambahan ketinggian atap 2meter)



Spot bersuhu radiasi tertinggi 75°C terjadi pada perkerasan aspal dan conblok yang digunakan sebagai sarana sirkulasi kawasan ini. Pohon perindang eksisting di taman sekeliling pendopo dapat mengurangi suhu radiasi yang dinaunginya menjadi 60°C. Perubahan suhu radiasi rerata oleh AtapTinggi tidak dapat dianalisis dari potongan visual kontur 2 dimensi disamping karena dampak kenaikan atap adalah peningkatan paparan radiasi lingkungan 3 dimensi.

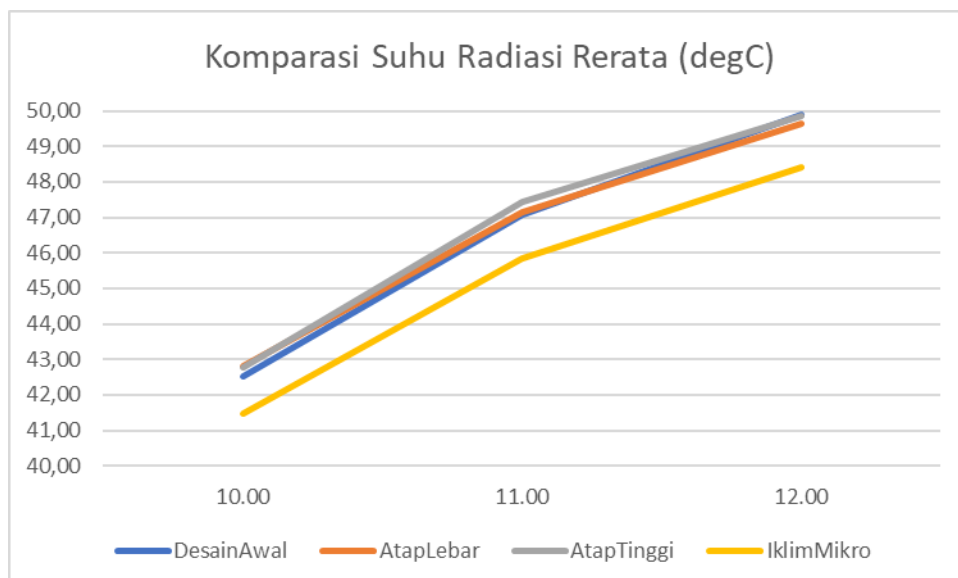


Model IklimMikro (eksisting, penambahan vegetasi dan air mancur)



(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Gambar-gambar diatas menunjukkan bahwa suhu radiasi rerata lingkungan di siang hari dipengaruhi oleh peneduhan-peneduhan dari bangunan pendopo dan pohon-pohon perindang. Dengan demikian, upaya meminimalisir paparan terik matahari siang hari dengan pelebaran atap dan memperbanyak pohon perindang menjadi solusi efektif mengurangi suhu radiasi rerata yang meningkatkan kenyamanan termal manusia di Kawasan Pendopo Ageng Mangkunegaran. Selain itu, studi pemilihan pohon perindang dengan variasi nilai LAD (*Leaf Area Density*) dapat memberikan rekomendasi optimal untuk mengurangi pantulan matahari ke lingkungan agar tidak menghasilkan spot-spot panas 75°C seperti model-model diatas. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi suhu radiasi rerata di area pendopo.



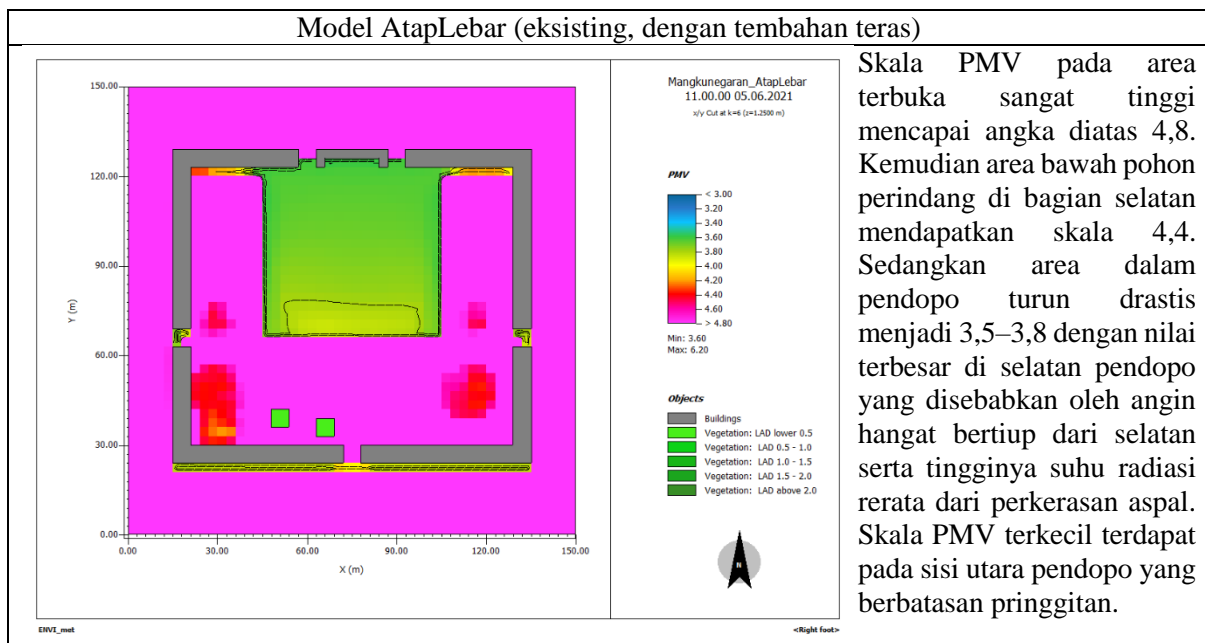
Gambar 19. Grafik Komparasi Suhu Radiasi Rerata di Area Pendopo pada Masing-masing Model (Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

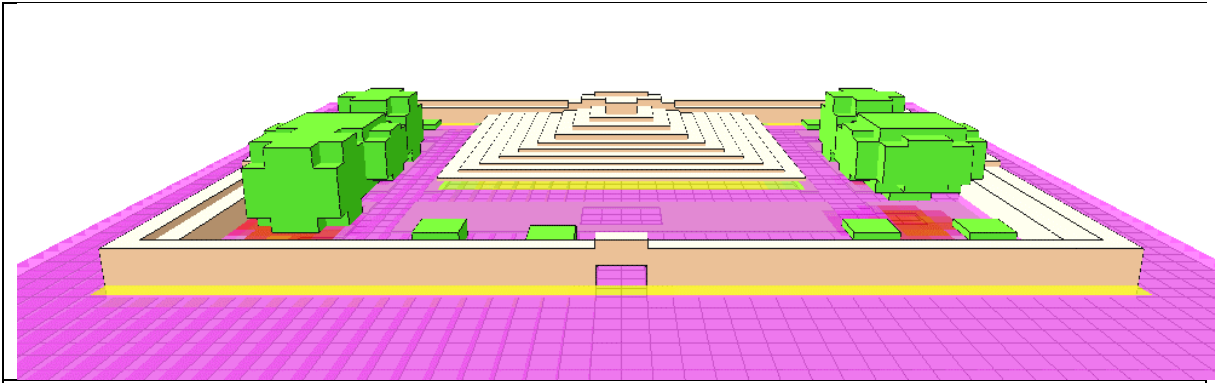
Garis-garis tren diatas menunjukkan nilai suhu radiasi rerata di area pendopo yang meningkat seiring bertambahnya waktu menuju siang hari oleh perubahan suhu lingkungannya. Seluruh Model Desain Awal, Atap Lebar, dan Atap Tinggi memiliki desain tata lansekap identik sehingga garis-garis suhu radiasi reratanya dengan nilai 43-50°C saling berdempetan dan mengindikasikan kontribusi lingkungan yang sama terhadap kondisi termal di area pendopo. Perbedaan suhu radiasi rerata terlihat jelas pada Model IklimMikro yang memiliki nilai terendah 41-47°C karena penambahan vegetasi-vegetasi perindang disekeliling pendopo. Hal ini membuktikan bahwa perubahan desain tata lansekap disekitar pendopo memiliki peran yang besar dalam menciptakan kenyamanan termal pendopo.

### Analisis Skala PMV pada Masing-masing Model

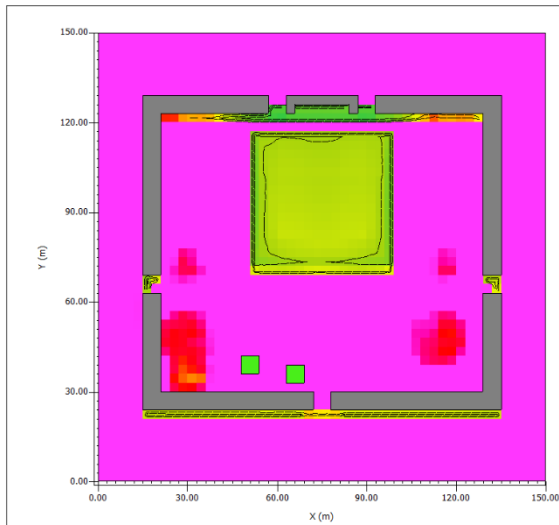
Selain simulasi faktor-faktor lingkungan diatas, indikator kenyamanan termal berupa skala PMV oleh Fanger dapat menjadi kesimpulan besar untuk menunjukkan kejadian kenyamanan termal di Pendopo Ageng Mangkunegaran. Adapun hasil kontur skala PMV pada masing-masing skenario model adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Permodelan Analisis Skala PMV pada Masing-masing Model



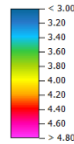


Model AtapAwal (desain semula, tanpa tambahan teras)



Mangkunegaran\_KondisiAwal  
11.00.00 05.06.2021  
xy-Cut at k=6 (z=1.2500 m)

PMV



Min: 3.60  
Max: 6.23

Objects

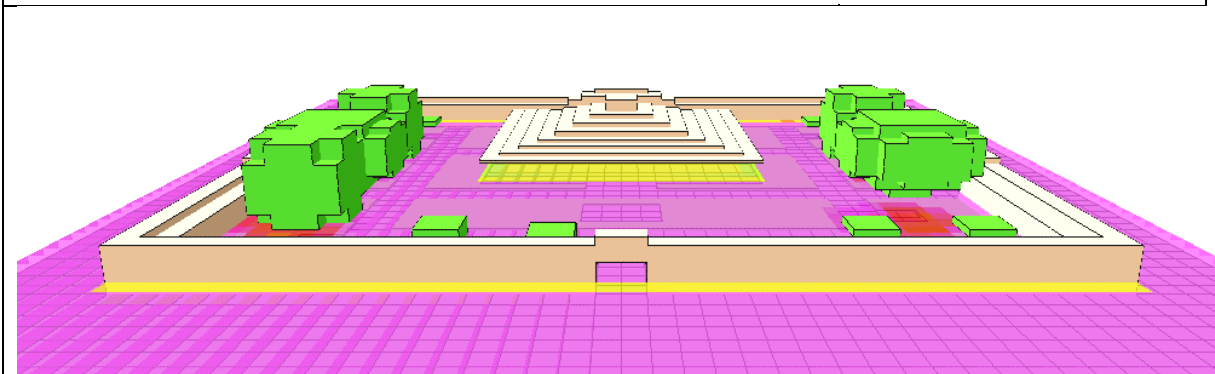
- Buildings
- Vegetation: LAD lower 0.5
- Vegetation: LAD 0.5 - 1.0
- Vegetation: LAD 1.0 - 1.5
- Vegetation: LAD 1.5 - 2.0
- Vegetation: LAD above 2.0



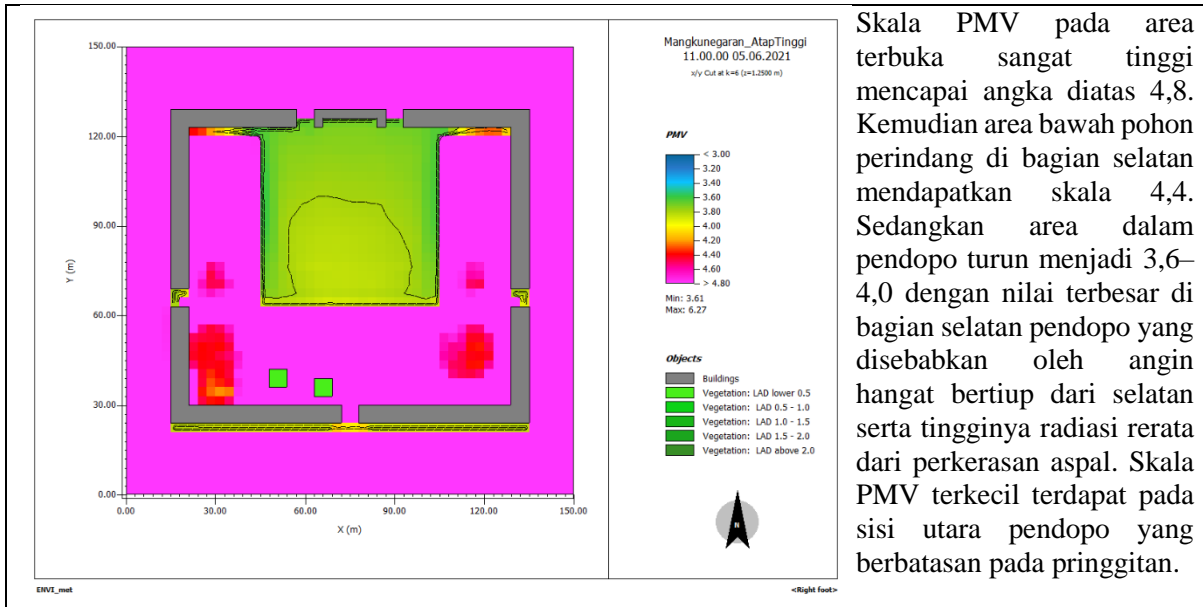
Skala PMV pada area terbuka sangat tinggi mencapai angka diatas 4,8. Kemudian area bawah pohon perindang di bagian selatan mendapatkan skala 4,4. Sedangkan area dalam pendopo turun menjadi 3,8–4,0 dengan nilai terbesar di bagian selatan pendopo disebabkan oleh udara hangat yang bertiup dari selatan serta tingginya suhu radiasi rerata dari perkerasan aspal. Skala PMV terkecil terdapat pada sisi selatan pringgitan.

EWI1\_met

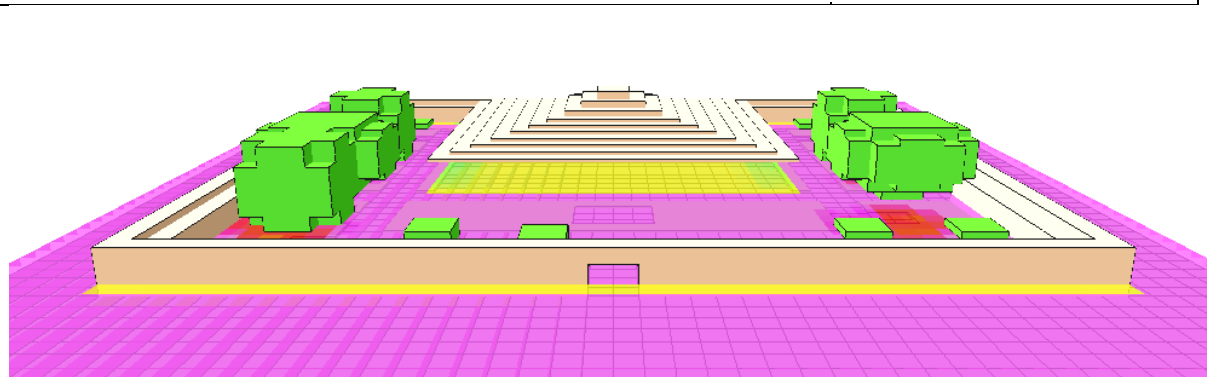
<Right foot>



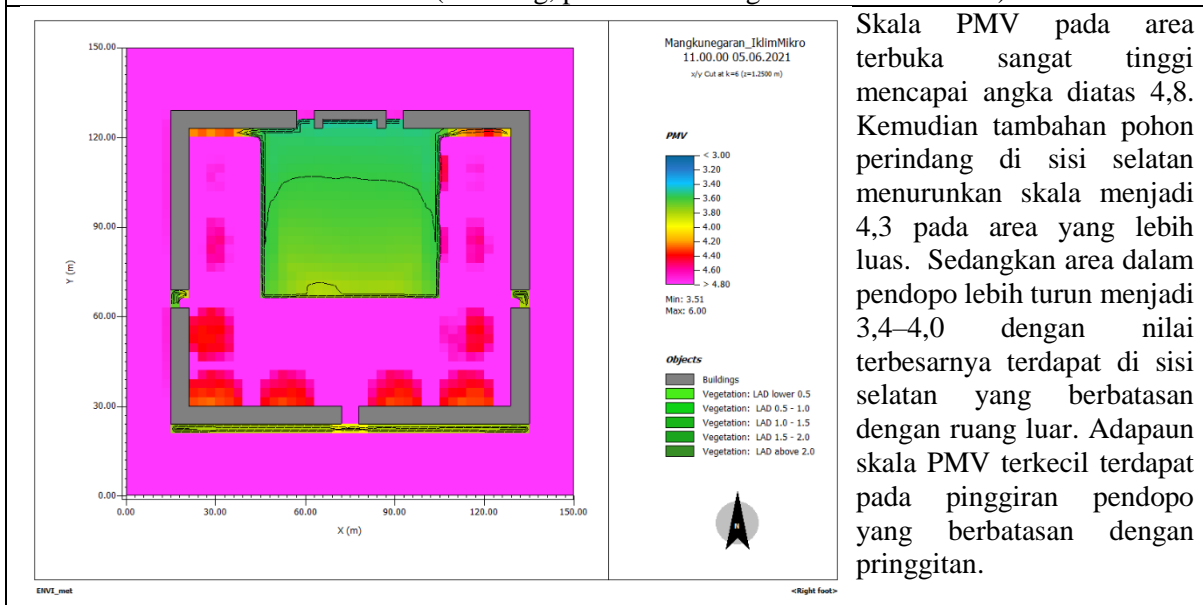
Model AtapTinggi (eksisting, penambahan ketinggian atap 2meter)



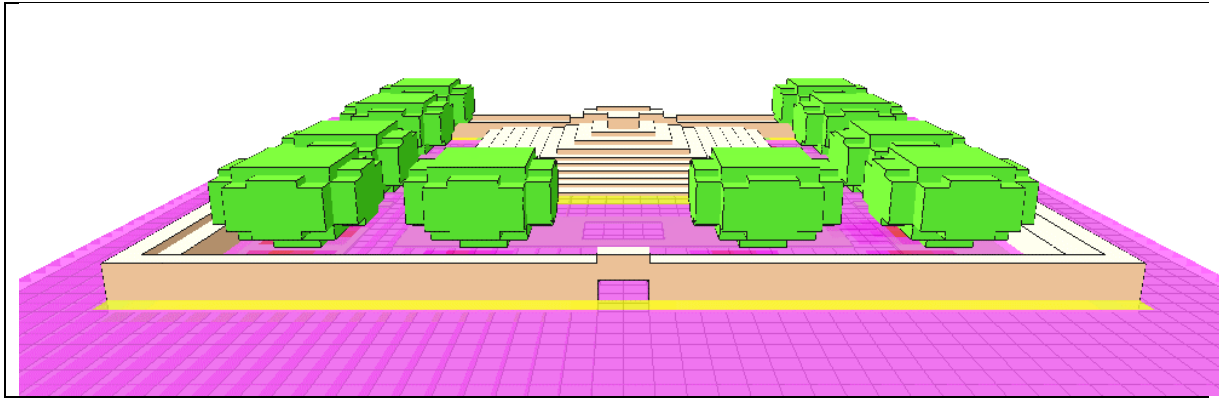
Skala PMV pada area terbuka sangat tinggi mencapai angka diatas 4,8. Kemudian area bawah pohon perindang di bagian selatan mendapatkan skala 4,4. Sedangkan area dalam pendopo turun menjadi 3,6–4,0 dengan nilai terbesar di bagian selatan pendopo yang disebabkan oleh angin hangat bertiup dari selatan serta tingginya radiasi rerata dari perkerasan asphalt. Skala PMV terkecil terdapat pada sisi utara pendopo yang berbatasan pada pringgitan.



Model IklimMikro (eksisting, penambahan vegetasi dan air mancur)



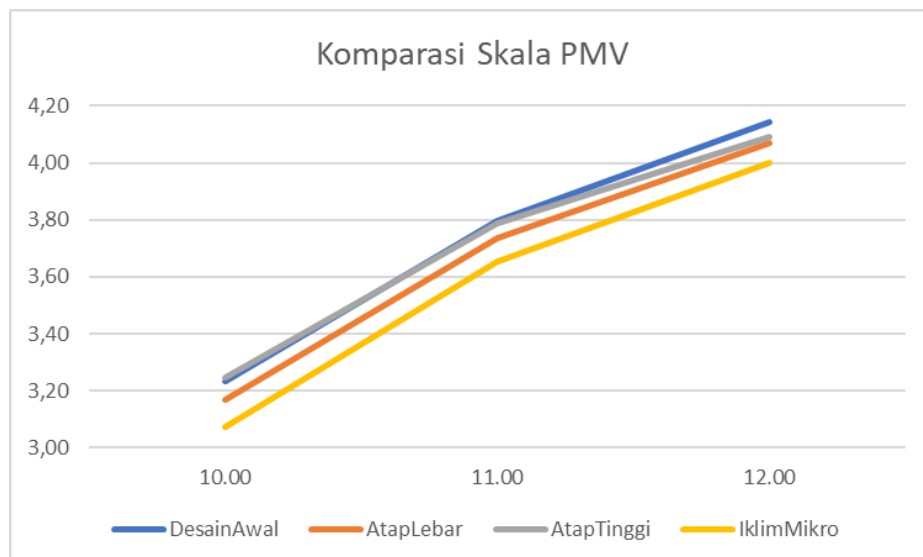
Skala PMV pada area terbuka sangat tinggi mencapai angka diatas 4,8. Kemudian tambahan pohon perindang di sisi selatan menurunkan skala menjadi 4,3 pada area yang lebih luas. Sedangkan area dalam pendopo lebih turun menjadi 3,4–4,0 dengan nilai terbesarnya terdapat di sisi selatan yang berbatasan dengan ruang luar. Adapaun skala PMV terkecil terdapat pada pinggiran pendopo yang berbatasan dengan pringgitan.



(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Pengamatan visual dengan peta kontur skala PMV diatas menunjukkan bahwa Model AtapLebar, Model AtapTinggi, dan Model IklimMikro memiliki luasan skala PMV 3-4 yang lebih besar dibandingkan Model AtapAwal. Hal ini membuktikan bahwa peran atap sebagai elemen penayang adalah sangat penting untuk mencapai kenyamanan termal di iklim tropis, terutama di siang hari. Kemudian, garis kontur skala PMV lebih tinggi masuk ke dalam area tengah pendopo pada Model AtapTinggi memperlihatkan area yg lebih hangat karena udara hangat lingkungan mampu masuk lebih dalam dibandingkan Model AtapLebar dan Model IklimMikro. Selain itu peran dari suhu radiasi rerata lingkungan yang lebih besar pada Model AtapTinggi turut menaikkan skala PMV-nya. Skala PMV terendah terlihat pada Model IklimMikro di area terdalam dekat pringgitan.

Untuk mengukur perbandingan skala kenyamanan termalnya, penelitian mengambil data numerik skala PMV rerata dari sembilan titik pada masing-masing model kedalam grafik dibawah ini. Perlu diingat bahwa pembacaan grafik mengacu pada kondisi eksisting dimana bangunan pendopo telah bertambah lebar dengan adanya emperan.



Gambar 19. Grafik Komparasi Skala PMV pada Masing-masing Model  
(Hasil Simulasi Tim Peneliti, 2021)

Grafik di atas memperlihatkan bahwa kondisi nyaman termal terbaik dialami oleh Model Iklim Mikro di seluruh waktu kajian dengan skala 3-4. Peran vegetasi perindang dapat mengurangi paparan suhu radiasi rerata dari lingkungan sekitar dan mengurangi hembusan udara hangat dari luar kawasan memasuki area pendopo. Di sisi lain, peninggian atap pendopo tidak berdampak positif terhadap skala PMV-nya karena justru mengurangi kemampuan peneduhannya, terutama pada pagi dan sore hari ketika matahari condong di timur dan barat. Sedangkan, Model Atap Awal memiliki skala kenyamanan termal terburuk pada siang hari karena memiliki area peneduh yang paling kecil.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan kajian simulasi Envi-met v4 di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Fungsi peneduh pada atap pendopo merupakan faktor utama untuk menciptakan kenyamanan termal yang optimal di iklim tropis lembab seperti di Surakarta, Indonesia. Sehingga upaya pelebaran dan perluasan atap menjadi solusi terbaik untuk meningkatkan kenyamanan termalnya.
2. Peningkatan kecepatan angin pada area pendopo dengan mengurangi luasan atap atau meninggikan atap tidak berdampak positif terhadap kenyamanan termalnya. Bahkan pada kasus udara luar yang lebih hangat justru akan meningkatkan suhu udara di area ini.
3. Peninggian atap memberikan paparan radiasi lingkungan yang lebih banyak, studi mengenai pengaruh tata lansekap minim suhu radiasi rerata dan elemen pembayang tambahan pada pendopo untuk mengurangi paparan matahari yang condong timur-barat dapat mengurangi dampak negatif peninggian atap secara termal.
4. Pengurangan paparan perkerasan dengan vegetasi perindang di sekitar pendopo dapat secara signifikan menurunkan suhu radiasi rerata di area pendopo.
5. Studi lanjutan mengenai pemilihan jenis vegetasi perindang dengan berbagai nilai LAD (*Leaf Area Density*) dapat memberikan rekomendasi jenis vegetasi yang cocok ditanam di kawasan ini dari aspek kenyamanan termal.
6. Efek samping penambahan vegetasi dan air mancur berupa kenaikan kelembaban udara tidak mengurangi kenyamanan termal pendopo karena terdapat aliran udara yang selalu mengalir di kawasan dan area tersebut.
7. Perkerasan berupa aspal menjadi sumber penyerapan dan penyebaran kalor yang tinggi di halaman pendopo. Perubahan jenis material penutup tanah dapat menjadi solusi pengganti material perkerasan.

## **SARAN**

Studi mengenai pengaruh desain ruang luar terhadap kenyamanan termal di area pendopo Kraton Mangkunegaran atau kasus serupa di iklim tropis memiliki potensi besar untuk didalami lebih jauh. Elemen-elemen desain lansekap yang beraneka ragam dapat memberikan berbagai rekomendasi desain lansekap terbaik untuk diterapkan dalam rangka mengoptimalkan kenyamanan termal manusia ketika berkegiatan di area terbuka dan semi-terbuka seperti pendopo. Selain itu, pemanfaatan alat bantu simulasi lingkungan seperti Envi-met v4 secara penuh selama 24 jam akan memberikan gambaran lengkap perilaku termal harian kawasan sesuai kejadian nyatanya.



**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas/deskripsi dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Bukti Luaran dimasukkan dalam bagian lampiran

No	Jenis Luaran	Deskripsi Luaran	Status/Progress Ketercapaian
1.	Jurnal ARTEKS	Artikel Jurnal Nasional Terakreditasi B (Shinta 2)	<b>pengajuan</b>

**E. PERAN MITRA(JIKA ADA MITRA):** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Mitra dalam penelitian ini adalah Laboratorium Fisika Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta, dimana peran kontribusi mitra tersebut adalah sebagai penyedia alat dan tenaga ahli untuk pengerjaan simulasi.

#### E.1. LAMPIRAN SURAT PERMOHONAN BANTUAN TEKNIS

**FAKULTAS ARSITEKTUR DAN DESAIN**  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang 50234  
Telp. (024) 8441555, 8505003 (hunting) Fax. (024) 8415429 - 8445265  
e-mail: unika@unika.ac.id http://www.unika.ac.id



No : 093/B.7.3/FAD/III/2021  
Perihal : Permohonan Bantuan Personel Anggota Tim Penelitian  
Lampiran : 1 lembar

Kepada :

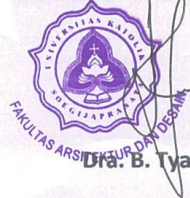
Yth. Ketua Program Studi Arsitektur  
Universitas Atmajaya Yogyakarta  
Di Tempat

Sehubungan dengan kegiatan penelitian kami dari Rumpun Pengembangan Teori dan Sejarah Arsitektur Universitas Katolik Soegijapranata Semarang yang berjudul "OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO TERHADAP UNSUR KENYAMANAN TERMAL PADA BANGUNAN PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA", kami bermaksud mengajukan penugasan kepada :

1. **Jackobus Ade Prasetya Seputra, ST, MT** (Dosen Prodi Arsitektur UAJY, NPP. 11.10.799)
2. **Petra Gian Maheswara** (Mahasiswa Prodi Arsitektur UAJY, NIM. 18.01.17379)
3. **Bernardus Damar Seto** (Mahasiswa Prodi Arsitektur UAJY, NIM. 18.01.17345)

Yang berasal dari unit kerja di lingkungan Prodi Arsitektur Universitas Atmajaya Yogyakarta, untuk menjadi bagian dari personel anggota tim penelitian kami, dengan mempertimbangkan bidang kepakaran yang dimiliki oleh yang bersangkutan. Masa penugasan terhitung tanggal **30 November 2020 sampai dengan 1 Juli 2021**. Demikian pemberitahuan kami, atas perhatian dan kerjasamanya, kami ucapkan terima kasih.

Semarang, 1 Maret 2021  
Dekan Fakultas Arsitektur dan Desain,



**Dra. B. Tyas Susanti, M.A, Ph.D**

**F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

**1. Kendala Keterbatasan Waktu dan Ijin masuk Obyek Penelitian terdampak Pandemi Covid-19.**

Pihak Mangkunegaran yang saat ini tengah melakukan lockdown, maka hanya dapat menerima kunjungan tim peneliti secara terbatas. Hal ini berdampak pada pengambilan sampel yang kurang optimal, yakni alat rekam data kalor dan kelembaban tidak dapat dipasang dalam kurun waktu berminggu-minggu sesuai rencana, melainkan sesekali waktu dalam kurun waktu yang ditentukan. Kendati demikian, kurun waktu yang diambil tersebut dianggap dapat mewakili kecenderungan iklim mikro yang tengah berlangsung.

**2. Kendala Lisensi pada Perangkat Lunak yang digunakan.**

Dalam hal ini, pada saat dilakukan simulasi rekam data per tanggal 11-12 Juni 2021, lisensi perangkat lunak yang digunakan, yakni EnviMet telah habis masa berlakunya, sehingga tim harus menunggu kembali untuk pengajuan masa perpanjangan sehingga simulasi harus ditunda selama 2 minggu.

**G. RENCANA TINDAK LANJUT PENELITIAN:** Tuliskan dan uraikan rencana tindak lanjut penelitian selanjutnya dengan melihat hasil penelitian yang telah diperoleh. Jika ada target yang belum diselesaikan pada akhir tahun pelaksanaan penelitian, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai tersebut.

1. Rencana tindak lanjut penelitian ke depan mungkin akan ditekankan terhadap rencana pengambilan sampel data iklim dan cuaca setempat, dengan perpanjangan waktu dan perijinan, apabila dari hasil analisis optimasi dari simulasi masih dirasa perlu untuk diambil data yang lebih banyak.
2. Penelitian Bangunan sekitar Pendopo, yang terpengaruh terhadap iklim mikro yang terpengaruh eksistensi bangunan Pendopo, yakni bangunan perpustakaan yang ada di lingkungan Mangkunegaran, yakni Rekso Pustoko. Dalam hal ini, karakter iklim mikro yang diperoleh, tentu akan sangat berbeda mengingat sifat bangunan dengan enclosure tinggi, berbeda dengan pendopo yang memiliki enclosure rendah atau termasuk pada golongan semi-terbuka .

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

[1] Priyotomo, J. 1984. *Ideas and Forms of Javanese Architecture*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

[2] Santosa, R.B. 2000. *Omah, Membaca Makna Rumah Jawa*. Yogyakarta: Yayasan Bentang Budaya.



2	Pernyataan Proposal diterima / revisi minor																			
3	Studi Literatur (tahap 2/lanjutan)																			
4	Observasi, Pendataan Fisik																			
5	Olah Data, Penggambaran Model 3d Bangunan Pendopo dan Bangunan Sekitar																			
6	Penyusunan Hipotesis																			
7	Olah Data dan Simulasi ENVI-met v.4.0																			
8	Pengujian hasil simulasi dan hipotesis																			
9	Analisis Hasil dan Temuan																			
10	Penyusunan Laporan Akhir																			
11	Review Laporan Hasil Penelitian dan Paparan Hasil																			
12	Luaran (Jurnal/Prosiding)																			

## I.2. LAMPIRAN ANGGARAN BIAYA

<b>BAHAN HABIS PAKAI</b>					
No	Deskripsi	Jumlah	Harga Satuan	Jml X Satuan	Ket
1	Rim Kertas HVS 70 gr	3	Rp. 47.500,-	Rp. 142.500,-	
2	Ballpoint	5	Rp. 15.000,-	Rp. 75.000,-	
3	Noteboard	4	Rp. 30.000,-	Rp. 120.000,-	
	<b>SUB-Total 1</b>			<b>Rp. 337.500,-</b>	
<b>PENGUMPULAN DATA</b>					
No	Deskripsi	Jumlah	Harga Satuan	Jml X Satuan	Ket
1	Perjalanan (BBM Solar, 5x Pengisian)	5	Rp. 100.000,-	Rp. 500.000,-	
2	Meteran Laser Digital (sewa)	1	Rp. 550.000,-	Rp. 550.000,-	
3	Alat Ukur Suhu & Temperatur (sewa)	1	Rp. 600.000,-	Rp. 600.000,-	
	<b>SUB-Total 2</b>			<b>Rp. 1.650.000,-</b>	
<b>ANALISIS DATA (TERMASUK SEWA PERALATAN)</b>					
No	Deskripsi	Jumlah	Harga Satuan	Jml X Satuan	Ket
1	Pembuatan Modelling Bangunan dan Lingkungan	1	Rp. 500.000,-	Rp. 500.000,-	
2	Olah Data / Simulasi Komputasi ENVI-met v.4.0 (software free version)	1	Rp. 440.000,-	Rp. 440.000,-	
	<b>SUB-Total 3</b>			<b>Rp. 940.000,-</b>	
<b>PELAPORAN DAN LUARAN</b>					
No	Deskripsi	Jumlah	Harga Satuan	Jml X Satuan	Ket
1	Konsumsi/Rapat (6x)	6	Rp. 120.000,-	Rp. 720.000,-	
2	Print (4 exemplar)	4	Rp. 60.000,-	Rp. 240.000,-	
3	Biaya				

Seminar/Publikasi Jurnal	1	Rp. 500.000,-	Rp. 500.000,-
<b>SUB-Total 4</b>			<b>Rp. 1.460.000,-</b>
<b>TOTAL</b>			<b>Rp. 4.387.500,-</b>

I.3. LAMPIRAN SUSUNAN ANGGOTA TIM



**Unika**  
SOEGIJAPRANATA

**FAKULTAS ARSITEKTUR DAN DESAIN**  
 Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang 50234  
 Telp. (024) 8441555,8505003 (hunting) Fax. (024) 8415429 - 8445265  
 e-mail:unika@unika.ac.id http://www.unika.ac.id

LAMPIRAN

SUSUNAN ANGGOTA TIM PENELITIAN  
PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA

Judul : "OPTIMASI KONDISI IKLIM MIKRO TERHADAP UNSUR KENYAMANAN  
TERMAL  
PADA BANGUNAN PENDOPO AGENG MANGKUNEGARAN SURAKARTA"

Periode : **30 November 2020 sampai dengan 1 Juli 2021**

Ketua : Bonifacio Bayu Senasaputro, ST, M.Sc (Unika Soegijapranata)  
 Anggota : 1. Dr. Ir. Krisprantono, MT (Unika Soegijapranata)  
 2. Jackobus Ade Prasetya, ST, MT (UAJY)  
 3. Rosalia Rachma R., ST, M.Ars (IAI Jateng, HDII Semarang)

Asisten Peneliti (Mahasiswa) : 1. Dwi Prasetyo (Unika Soegijapranata)  
 2. Jap Shirley Nathania Kurniadi (Unika Soegijapranata)  
 3. Petra Gian Maheswara (UAJY)  
 4. Bernardus Damar Seto (UAJY)

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Arsitektur dan Desain  
Unika Soegijapranata Semarang,



**B. Tyas Susanti, M.A, Ph.D**

Ketua Peneliti,

**Bonifacio Bayu S. ST, M.Sc**