

KINERJA THERMAL PADA MASJID 'AMAL BAKTI MUSLIM PANCASILA'

¹⁾Didiek Suharjanto; ¹⁾Bambang Joko Wiji Utomo; ¹⁾Soeranto D.S.

¹⁾Dosen Prodi. Arsitektur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN- Malang

ABSTRAKSI

Bertitik-tolak dari hasil penelitian yang di lakukan oleh Suryo Tri Harjanto, Bahwa "Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila" type 15, lebih sesuai (mendekati nyaman) bila di terapkan/di bangun di daerah dataran rendah (Kota Surabaya), Penelitian tahun 2006, tentang "Tingkat Efektifitas Elemen Pembentuk Termal Terhadap Kinerja Termal Bangunan Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila", dari hasil tersebut, maka perlu adanya penelitian tindak lanjut, yang diharapkan dapat ditemukannya kinerja termal bahan penutup atap (elemen dominan) "Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila (ABMP)" yang sesuai untuk di daerah pesisir, maupun di dataran tinggi (Pegunungan) pada kawasan yang beriklim Tropis Lembab. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk membakukan bahan penutup atap bangunan yang sesuai untuk di daerah tropis lembab. Penelitian akan dilakukan penelitian lapangan, maupun laboratorium (simulasi), pada bangunan "Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila" di kota Malang (dataran tinggi), kota Surabaya (dataran rendah) dan kota Surabaya (pesisir). Untuk penelitian ini di perlukan waktu selama 3 tahun dengan pentahapan sebagai berikut : 1. Tahun pertama membakukan type Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila yang sesuai untuk di daerah dataran rendah (kota Surabaya), dengan membandingkan kinerja termal bangunan pada tiga type bangunan Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila (ABMP), tahap ke 2 (tahun ke 2) adalah menguraikan secara detail tentang kinerja termal oleh elemen penutup atap, dengan tujuan untuk membakukan nilai kinerja termal bahan elemen penutup atap pada "Masjid Amal Bakti Muslim Pancasila (ABMP)", Sedangkan pada tahun ke 3 akan membandingkan berbagai bahan elemen penutup atap bangunan dengan harapan dari hasil penelitian ini dapat membakukan bahan elemen penutup atap yang sesuai untuk digunakan di daerah tropis lembab, dan penyusunan Draf usulan untuk mendapatkan hak Paten (HKI).

Kata Kunci: iklim mikro, masjid, kinerja termal, elemen bangunan.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Indonesia termasuk kedalam daerah beriklim Tropis Lembab, dimana ciri-cirinya adalah : suhu udara berkisar antara 24 0C – 29 0C, kelembaban relatif berkisar antara 60 % - 90 %, arah angin dominan Timur

dan Barat, kecepatan angin antara 0,5 – 1,5 m/dt dan 'calm period' (angin mati) terjadi pada siang hari, yaitu pada waktu suhu udara dan kecepatan angin mencapai maximum dan kelembaban relatif mencapai minimum (Santosa, 1987). Walau sama-sama ada di daerah Iklim Tropis, masing-masing kota memiliki iklim yang berbeda, dimana menurut Surjamanto Wonoraharjo dan DR. Aman Mustafan (2002), dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik kota, yaitu : daerah pesisir, daerah dataran rendah dan daerah dataran tinggi.

“Masjid Amal Bhakti Muslim Pancasila” merupakan sebuah bangunan Masjid yang dibangun oleh Yayasan Amal Bhakti Muslim Pancasila di seluruh Indonesia. Walau memiliki 3 (tiga) tipe, yaitu tipe 15, tipe 17 dan tipe 21, masjid tersebut mempunyai ciri-ciri yang sama, baik dari bentuk maupun bahan yang digunakan.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Suryo Tri Harjanto, pada masjid “Amal Bakti Musli Pancasila” adalah antara lain, Elemen penutup atap adalah merupakan elemen yang dominan berpengaruh pada kinerja termal bangunan, temuan yang lain adalah bangunan masjid “Amal Bakti Muslim Pancasila” type 17, lebih sesuai pada daerah dataran rendah (Kota Surabaya).

Salah satu fungsi dari Arsitektur (bangunan) adalah sebagai *Climed Modifier*, yaitu dapat merubah kondisi di dalam bangunan lebih baik dibandingkan dengan kondisi diluar.

Dengan kondisi bangunan yang sama pada daerah dengan iklim mikro yang berbeda, tentunya akan mempengaruhi kondisi termal di dalam bangunan

2. Tujuan Penelitian

- Menguji Kinerja termal dari beberapa type Bangunan Masjid “Amal Bhakti Muslim Pancasila”.
- Menguji Type Masjid yang mana yang kinerja termalnya paling baik untuk kenyamanan pemakainya pada daerah dataran rendah (Surabaya).
- Menguji kinerja termal berbagai bahan penutup atap pada Bangunan masjid “Amal bhakti Muslim Pancasila” di laboratorium dengan simulasi.

3. Rumusan Masalah

Permasalahan yang berkaitan dengan kinerja termal pada “Masjid Amal Bhakti Muslim Pancasila” (ABMP) adalah :

- Ada 3 type masjid “ABMP” yaitu 15, 17 dan 21, dengan perbedaan type ini mengakibatkan memiliki tingkat nyaman yang berbeda,

sehingga perlu adanya pengujian pada tiap type, pada tiap kelompok daerah tertentu.

- Ada 3 elemen bangunan pembentuk termal ruang yaitu elemen Atap, dinding dan lantai, dari ketiga elemen tersebut elemen manakah yang signifikan berpengaruh dalam kenyamanan ruang.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Iklim Tropis Lembab

Iklim tropis lembab terdapat dalam suatu lajur yang terbentang disekitar khatulistiwa antara 15^o Lintang Utara dan 15^o Lintang Selatan. Iklim di Indonesia termasuk didalam Iklim tropis lembab dimana menurut Koenigsberger (1973), ditandai dengan kondisi udara yang panas yang disebabkan oleh tingginya suhu udara rata-rata dan kelembaban udara. Iklim tropis lembab menurut Evans (1980), mempunyai fluktuasi suhu udara rata-rata harian dan tahunan relatif kecil. Namun dengan ciri-ciri suhu udara yang relatif panas, kelembaban udara yang tinggi, intensitas radiasi matahari yang tinggi, pergerakan angin yang lambat serta curah hujan yang cukup tinggi, menurut Szokolay (1981) membuat kondisi iklim tropis lembab sebagai kondisi yang sulit untuk diselesaikan secara arsitektural dalam mendapatkan kondisi nyaman dalam bangunan.

2. Kinerja Termal Bangunan (thermal performance of building)

Kinerja termal bangunan merupakan suatu pengontrol lingkungan termal pada ruang dalam bangunan yang dicapai melalui prosedur desain dan sifat dari bahan selubung bangunan (sistem konstruksi bangunan). Disebutkan juga bahwa kinerja termal bangunan merupakan sebuah keberhasilan dari sistem pendinginan atau pemanasan pasif yang dimodifikasi agar dapat memenuhi persyaratan kondisi ruang dalam (Van Straaten, 1980).

Kinerja termal bangunan sangat dipengaruhi oleh sistem konstruksi dan bahan. Sedangkan faktor eksternal yang berpengaruh adalah elemen iklim yang khususnya di daerah tropis terdiri dari suhu udara, kelembaban dan kecepatan angin (Szokolay, 1981, Santosa, 1993-a, Holmes and Arups, 1998). Menurut Evans (1980), dinding dan atap dapat memodifikasi suhu ruang dalam bangunan. Dengan pemilihan bahan yang tepat pada dinding dan atap, dapat mencapai dan mempertahankan suhu di dalam lebih baik daripada suhu di luar bangunan.

METODE PENELITIAN

1. Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui kinerja termal sebuah elemen atap bangunan masjid "ABMP" dengan variabel iklim yang berbeda, maka pada penelitian ini menggunakan 2 (dua) cara, yaitu pengukuran lapangan dan simulasi di Laboratorium.

2. Obyek Penelitian

Seperti yang dijelaskan bahwa pada penelitian ini menggunakan dua cara, yaitu penelitian lapangan dan eksperimen (simulasi). Pada penelitian lapangan, yang digunakan sebagai obyek penelitian adalah bangunan Masjid 'Amal Bhakti Muslim Pancasila' yang ada di Malang, dan Surabaya. Sedangkan pada penelitian eksperimen dilakukan pada obyek yang sama namun dengan kondisi iklim mikro yang berbeda, Malang, Surabaya

3. Metode Pengumpulan Data

Data dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu : data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung di lapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang melengkapi data primer, yaitu yang diperoleh dari instansi terkait berupa buku/dokumen/catatan yang diteliti atau suatu hasil penelitian.

Untuk mendapatkan data yang tepat dan dapat mendukung proses analisis, maka perlu diperhatikan dalam pengambilan data, yaitu : menentukan faktor pengaruh, menentukan jenis data apa yang dibutuhkan, menentukan sumber-sumber data yang relevan, menentukan cara mendapatkan data dan alat yang digunakan untuk mendapatkan data tersebut.

4. Metode Pengukuran dan Alat Penelitian

a. Penentuan Titik Ukur

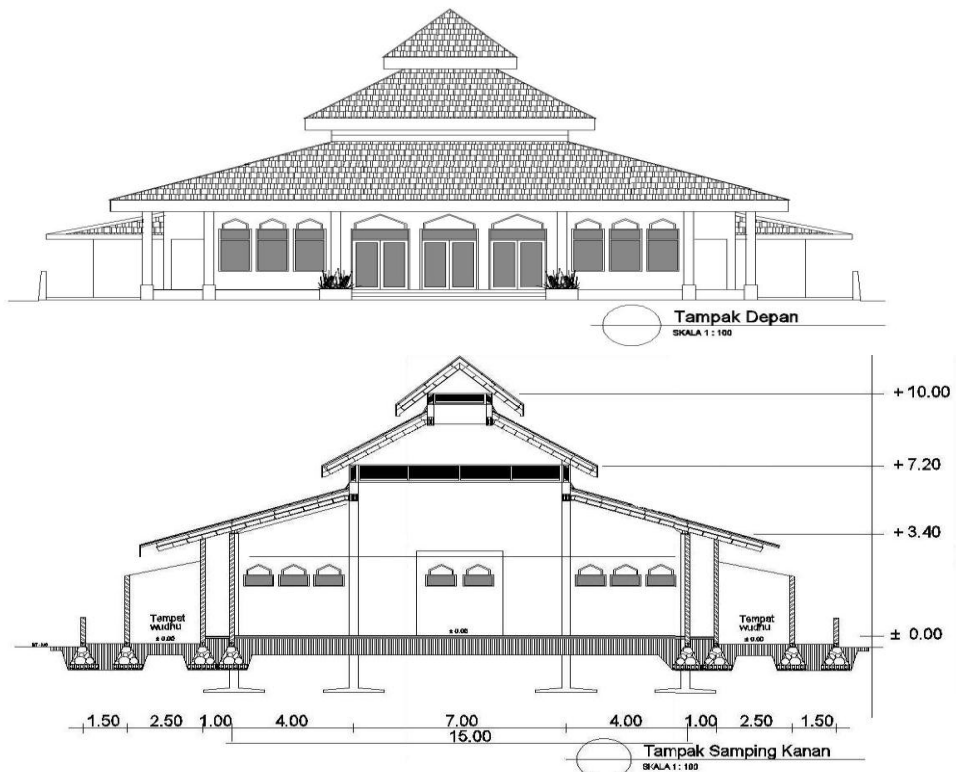
- Sebelum melakukan pengukuran di lapangan, dilakukan pengamatan awal untuk menentukan titik dan lokasi yang akan diukur.
- Untuk pengukuran iklim di luar bangunan, penentuan titik ukur ditetapkan pada daerah yang dekat dengan bangunan dan ternaungi, sehingga tidak terkena langsung sinar matahari.
- Pengukuran didalam bangunan titik ukur diletakkan pada bagian tengah ruang setinggi 1,5 m di atas lantai dan di bagian tengah pada ruang atap. Diharapkan perletakan tersebut akan mendapatkan hasil yang mendukung proses penelitian.

b. Metode pengukuran

Untuk melakukan pengukuran secara sistematis, ada pentahapan yang harus dilakukan, yaitu :

- Menyiapkan alat yang akan digunakan
- Menyiapkan tabel-tabel untuk pencatatan hasil pengukuran
- Menandai titik yang akan diambil datanya
- Menentukan waktu, hari, bulan dan lamanya pengukuran
- Pengukuran dilakukan selama 2 hari mulai pagi hingga sore,
- Hasil pengukuran dicatat pada tabel yang sudah disiapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Sistem Konstruksi Bangunan

1. Simulasi

Sesuai dengan metode penelitian yang digunakan, dalam membandingkan kinerja termal bangunan pada 3 iklim kota, yaitu kabupaten Malang, dan kota Surabaya, maka menggunakan metode eksperimen (simulasi), dimana dalam simulasi tersebut menggunakan program Aiolos dan Archipack 4. (Szokolay). Program Aiolos digunakan untuk mendapatkan hasil berupa distribusi kecepatan angin dan jumlah pertukaran udara dalam bangunan yang berfungsi juga sebagai bahan masukan untuk program Archipack 4.

2.1. Jumlah Pertukaran Udara dan Distribusi Kecepatan Angin

Dari simulasi yang dilakukan diperoleh hasil sbb:

a) Masjid 'ABMP' di Kabupaten Malang

Pada bulan terdingin kecepatan angin berkisar antara 1.6 s/d 2.2 m/s dan prosentase frekuensi distribusi kecepatan yang paling banyak adalah rentang antara 1.8 – 1.85 m/s, yaitu sebesar 25 %, sedangkan kecepatan paling tinggi yaitu antara 2.1 – 2.2 m/s memiliki prosentase distribusi hanya sebesar 4.2 %.

Distribusi kecepatan angin pada bulan dingin ini seluruhnya memiliki arah Selatan. Dengan kecepatan antara 1.6 – 2.2 m/s, menurut Evan (1980) berpotensi dapat memudahkan pencapaian kenyamanan ketika dalam kondisi panas, namun dengan besaran tersebut serta dengan seluruh distribusi kecepatan angin yang memiliki orientasi Selatan akan menjadi permasalahan dalam memasukkan udara dingin ke dalam bangunan pada orientasi Utara.

Sedangkan pada bulan terpanas, orientasi distribusi kecepatan angin sama dengan bulan terdingin, yaitu orientasi Selatan dan frekuensi distribusi paling besar dengan kecepatan antara 1.7 – 1.75 m/s dengan prosentase sebesar 25 %. Hal ini dapat diartikan ada selisih 0.1 m/s antara bulan terdingin dan terpanas, tetapi dapat menyebabkan perbedaan dalam pertukaran udara yang terjadi di dalam bangunan, dimana rata-rata pertukaran udara di bulan terdingin sebesar 15.9 vol/jam dan pada bulan terpanas sebesar 13.6 vol/jam. Nilai tersebut untuk iklim tropis tidak memenuhi standard, karena menurut Moore (1993), disyaratkan pertukaran udara dalam bangunan untuk iklim tropis sebesar 30 vol/jam.

Baik pada bulan terdingin maupun terpanas pertukaran udara paling besar terjadi pada pagi hari dan terkecil pada siang hari, tetapi pada pagi hari nilai pertukaran udara bulan terdingin lebih besar sedangkan pada siang sampai sore hari, bulan terpanas nilai rata-ratanya lebih besar. Walau nilai pertukaran udara rata-rata tidak memenuhi yang disyaratkan, tetapi dengan nilai terbesar di pagi hari akan mempunyai pengaruh terhadap *temperatur indoor* (T_i) dalam mencapai kenyamanan ketika *temperatur outdoor* (T_o) dalam kondisi *underheating* terutama pada bulan terdingin yang memiliki *temperatur outdoor* (T_o) lebih rendah dari bulan terpanas. Demikian pula ketika nilai pertukaran udara yang rendah terjadi pada siang hari, akan berpengaruh dalam mencapai kenyamanan ketika *temperatur outdoor* (T_o) dalam kondisi *overheating* terutama pada bulan terpanas.

b) Masjid 'ABMP' di Kota Surabaya

Pada Bulan terdingin dan terpanas di iklim kota Surabaya mempunyai rentang kecepatan angin yang sama, yaitu antara 1.0 – 4.3 m/s, dimana

frekuensi distribusi kecepatan angin terbesar pada bulan terdingin dan terpanas juga sama tetapi prosentasenya yang berbeda, yaitu kecepatan angin dengan rentang 1.0-1.3 m/s dan 2.3 - 2.7 m/s pada bulan terdingin prosentasenya 41.7 %, sedangkan pada bulan terpanas prosentasenya 37.5 %. Nilai kecepatan angin terbesar yaitu dengan rentang 4.0 – 4.3 m/s pada bulan terdingin frekuensi distribusinya sebesar 16.7 % dan pada bulan terpanas sebesar 25 %.

Bila dilihat dari segi rentang kecepatan angin dan prosentase frekuensi distribusinya, maka baik pada bulan terdingin maupun bulan terpanas ini berpotensi dalam mencapai kenyamanan. Tetapi dengan nilai tersebut berpotensi memasukkan udara panas ke dalam bangunan.

Sedangkan arah angin dominan pada bulan terdingin dan terpanas adalah sama, yaitu orientasi Timur. Pada bulan terdingin mempunyai prosentase sebesar 70.8 % dan bulan terpanas mempunyai prosentase sebesar 75 %, sehingga pada orientasi Barat pada kedua kondisi bulan tersebut fasade bangunan berpotensi untuk memperoleh pendinginan lebih besar dari orientasi lainnya.

Adapun nilai pertukaran udara yang terjadi pada bangunan, nilai rata-rata pada bulan terdingin sebesar 13.3 vol/jam dan bulan terpanas memiliki nilai rata-rata sebesar 11.3 vol/jam. Nilai pertukaran udara pada bulan terdingin dan bulan terpanas ini menurut Moore (1993), juga tidak memenuhi syarat untuk iklim tropis terutama pada bulan terpanas memiliki temperatur rata-rata lebih tinggi dari bulan terdingin, sehingga kurang efektif dalam mencapai kenyamanan utamanya ketika bangunan memiliki beban panas yang tinggi. Sehingga diperlukan peran bangunan dari yang sisi lain untuk mencapai kenyamanan temperatur.

Menurut Moore (1993), untuk mencapai kenyamanan di daerah tropis, dibutuhkan pertukaran udara sebesar 30 vol/jam.

2.2. Kinerja Termal Masjid 'ABMP' di Kabupaten Malang

a) Temperatur Bangunan

Di Kabupaten Malang pada bulan terdingin *temperatur indoor* (T_i) bangunan mulai naik pada jam 09.00 dan mencapai puncak pada jam 16.00. Sedangkankan *temperatur outdoor* (T_o) mulai naik pada jam 07.00 dan mencapai puncak pada jam 14.00. ini berarti ada penundaan selama 2 jam capaian puncak antara *temperatur indoor* (T_i) dan *temperatur outdoor* (T_o). *Temperatur indoor* (T_i) mulai naik pada jam 09.00 dengan temperatur °C dikarenakan adanya panas akibat radiasi yang mulai diterima oleh bangunan terutama oleh bidang transparan berupa pintu dan jendela kaca. Sedangkan capaian puncak jam 16.00 dengan nilai °C dikarenakan pada jam tersebut semua elemen menerima panas, walau secara total nilainya tidak maksimal (nilai maksimal terjadi pada jam 14.00) namun pada jam

tersebut bangunan menerima tambahan beban panas dari dalam bangunan dengan adanya *internal heat gain* berupa aktifitas manusia dengan nilai *9800 watts*, sehingga meningkatkan nilai *temperatur indoor* (Ti).

Secara fluktuatif kenaikan *temperatur indoor* (Ti) mengikuti pola kenaikan dan penurunan *temperatur outdoor* (To), yaitu ketika *outdoor* naik, *indoor* juga ikut naik. Demikian sebaliknya ketika *outdoor* (To) mengalami penurunan *temperatur indoor* (Ti) juga mengalami penurunan, namun *temperatur outdoor* (To) memiliki kenaikan dan penurunan secara konstan sedangkan *temperatur indoor* (Ti) penurunan dan kenaikannya sangat fluktuatif. Hal ini disebabkan diantaranya oleh adanya *internal heat gain* pada jam-jam tertentu (menyesuaikan dengan waktu sholat) yaitu pada jam 05.00, 12.00, 15.00, 18.00 dan jam 19.00. sehingga pada jam-jam tersebut mengalami kenaikan temperatur yang lebih besar dan pertukaran udara yang besarnya tidak sama pada tiap-tiap jamnya.

Pada bulan terdingin dan terpanas *temperatur indoor* (Ti) lebih rendah dari temperatur outdoor, yaitu mulai jam 09.00 s/d jam 23.00 sedangkan jam 24.00 s/d jam 08.00 mengalami kenaikan dari *temperatur outdoor* (To). Hal ini disebabkan kenaikan dan penurunan *temperatur indoor* (Ti) relatif lebih kecil dibanding dengan *temperatur outdoor* (To). Apabila kenaikan *temperatur outdoor* (To) memiliki interval antara > 2 °C, sedangkan *temperatur indoor* (Ti) memiliki kenaikan interval antara > 1 °C. Hal ini disebabkan kemampuan bangunan dalam mereudksi panas yang ditransmisikan ke dalam bangunan. Sehingga dapat mempengaruhi kondisi *temperatur indoor* (Ti), yaitu ketika kondisi *temperatur indoor* (Ti) turun dari *temperatur outdoor* (To) dimana pada saat itu *temperatur outdoor* (To) dalam kondisi *comfort* dan *overheating* tidak dapat dipertahankan dan diperbaiki sehingga turun menjadi *underheating*. Kecuali pada jam 16.00 dimana *outdoor* dalam kondisi *overheating* turun menjadi *comfort* karena adanya tambahan panas dari dalam bangunan berupa aktifitas manusia sebesar *9800 watts*. Demikian pula pada jam 20.00 , 21.00 dan jam 22.00. walau *temperatur indoor* (Ti) masih lebih rendah dari *temperatur outdoor* dan temperatur dalam kondisi *comfort* dapat dipertahankan menjadi *comfort* karena adanya tambahan beban panas dari dalam bangunan pada jam 18.00 dan 19.00 berupa aktifitas manusia serta beban panas dari penerangan dengan nilai *10200 watts*.

b) Kenyamanan Bangunan

Kenyamanan bangunan di kabupaten Malang pada bulan terdingin dari hasil simulasi memiliki rentang kenyamanan yaitu antara 22 °C – 27 °C. Pada rentang kenyamanan tersebut, *tempertur Indoor* (Ti) lebih didominasi dengan kondisi yang *underheating*, yaitu dengan durasi 20 jam dalam 24 jam atau 83,3 %. Sedang 4 jam atau 16,7 % *tempertur Indoor* (Ti) dalam kondisi *comfort*.

Kondisi tersebut bila dikaitkan dengan waktu huni sesuai dengan jadwal sholat lima waktu dalam 1 hari yang selalu dilakukan, pada bulan terdingin ini *tempertur Indoor* (Ti) terdiri dari 4 jam atau 80 % dalam kondisi *underheating*, yaitu pada jam 05.00, jam 12.00, jam 15.00 dan jam 18.00, sedangkan selama 1 jam atau 20 % dari waktu huni berada dalam kondisi *Comfort*, yaitu hanya jam 19.00 saja.

Sedangkan pada bulan terpanas dengan rentang kenyamanan antara $22.9^{\circ}\text{C} - 27.9^{\circ}\text{C}$ kondisi bangunan merupakan kebalikan dari bulan terdingin, yaitu dalam 24 jam *tempertur Indoor* (Ti) memiliki kondisi *comfort* selama 21 jam atau 87,5 % dan hanya 3 jam saja atau 12,5 % dalam kondisi *underheating*.

Dari kondisi tersebut dapat diartikan bahwa kinerja thermal bangunan Masjid Muslim Pancasila pada iklim Kabupaten Malang lebih berhasil memperbaiki kondisi lingkungan (*outdoor*) pada bulan terpanas dari pada bulan terdingin, karena durasi kenyamanannya lebih banyak di bulan terpanas daripada di bulan terdingin baik secara total 24 jam maupun ketika digunakan waktu sholat (lihat gambar).

2.3. Kinerja Termal Masjid 'AbMP' di Kota Surabaya

a) Temperatur

Untuk iklim kota Surabaya, pada bulan terdingin memiliki kondisi *temperatur indoor* (Ti) yang lebih baik dibanding dengan bulan terpanas. Walau *temperatur indoor* (Ti) lebih rendah dari *temperatur outdoor* (To) namun pada bulan terpanas kondisi *temperatur indoor* (Ti) lebih banyak dalam periode yang *overheating*. Hal ini disebabkan kondisi *temperatur outdoor* (To) cenderung *overheating*. Nilai *k-hours overheating* nya rata-rata diatas 4.0. sehingga dengan kemampuan bangunan yang dalam menreduksi panas menimbulkan kenaikan dan penurunan rata-rata memiliki nilai *k-hours overheating* 4.0 dari batas *comfort*, maka kondisi *temperatur outdoor* (To) yang *overheating* tersebut tetap dalam kondisi *comfort* pada *temperatur indoor* (Ti). Kecuali ada tambahan beban panas dari dalam bangunan (*internal heat gain*) nilai yang kurang dari 4.0 juga menjadi tetap *overheating*. Sedangkan pada bulan terdingin karena nilai *k-hors over heating* nya tertinggi sebesar 4.0, dapat diperbaiki menjadi *comfort*. Demikian pula dengan kondisi yang *underheating*, dengan nilai *k-hours* tertinggi -3.2 pada jam 05.00 dapat dinaikkan menjadi *comfort*. Nilai *underheating* tertinggi tersebut dapat diperbaiki menjadi *comfort* karena adanya tambahan beban panas dari dalam bangunan (*internal heat gain*) berupa aktifitas manusia dan penerangan sebesar 10200 watts.

b) Kenyamanan Bangunan

Di Kota Surabaya bangunan Masjid 'YAMP' pada bulan terdingin memiliki rentang kenyamanan antara $23.3^{\circ}\text{C} - 28.3^{\circ}\text{C}$ dan pada bulan

terpanas rentang kenyamanannya adalah antara 23.9 °C - 28.9 °C. Pada bulan terdingin yaitu bulan Juli, *temperatur Indor* (Ti) lebih banyak berada dalam kondisi *comfort*, yaitu selama 19 jam dari 24 jam atau 79,16 %. Selebihnya yaitu selama 5 jam atau 20,84 % berada dalam kondisi *overheating*. Sedangkan pada bulan terpanas yaitu bulan Oktober, *temperatur Indoor* (Ti) lebih banyak dalam kondisi yang *overheating* dengan durasi selama 17 jam atau 70,83 % dan yang 7 jam atau 29,17 % berada dalam kondisi *comfort*. Kondisi ini bila dikaitkan dengan waktu huni akan diperoleh bahwa bangunan masjid di kota Surabaya pada bulan terdingin terdapat 4 jam waktu huni atau 80 % dalam kondisi *comfort*, serta 1 jam atau 20 % dalam kondisi *overheating*. Sedangkan pada bulan terpanas seluruh waktu huni atau 100 % bangunan dalam kondisi *overheating*.

2. Analisa Hasil simulasi

Dari hasil simulasi, maka apabila dilihat dari peran elemen bangunan dalam kinerja termal bangunan adalah sebagai berikut :

2.1. Karakteristik Elemen Bangunan Masjid 'ABMP'

a) Atap

Masjid 'ABMP' memiliki bentuk atap yang spesifik, dimana setelah disederhanakan memiliki 2 susunan atap dan diantara 2 susunan atap tersebut terdapat ventilasi pada semua orientasi bangunan serta atap paling atas memiliki bentuk kerucut. Sedangkan kemiringan atap adalah 30°. Bentuk ini menurut Givoni (1976) lebih mampu menciptakan kecepatan angin untuk penghapusan panas dari pada bentuk atap datar.

Pada susunan atap Masjid terdapat bukaan (ventilasi) silang yang berada disemua orientasi, dengan keberadaan ventilasi ini, udara yang masuk ke ruang huni dapat berfungsi sebagai penghapus panas yang masuk melalui atap sebelum menyebar ke ruang huni.

Atap masjid 'ABMP' memiliki sosoran yang lebar, berfungsi sebagai peneduh ruang serambi yang ada diseluruh orientasi bangunan. Dengan adanya sosoran ini dapat mengakibatkan efek pambayangan pada fasade bangunan, sehingga menurut Majid dan Denan (2002) dapat menurunkan temperatur indoor (Ti).

Bila dilihat dari sifat termal bahannya, atap memiliki *U-value* sebesar 2.55 W/m² K, *time lag* sebesar 0.3 jam dan nilai *admittance* sebesar 2.58 W/m² K. Nilai *U-value* tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan nilai yang direkomendasikan oleh Evans (1980), yaitu sebesar 1.1 W/m² K, sedangkan untuk nilai *time lag* sebesar 0.3 jam merupakan nilai yang kecil, walau termasuk dalam rekomendasi, yaitu antara 0 s/d 3 jam. Dengan sifat termal tersebut, atap memiliki sifat yang mudah menerima panas ketika

mendapat panas radiasi matahari dan mudah melepaskannya ketika radiasi sudah selesai serta ketika *temperatur outdoor* (T_o) mulai turun.

Dari uraian tersebut, maka atap Masjid 'ABMP' memiliki sifat termal yang mudah menerima panas dan mudah melepaskan panas, namun dengan adanya ventilasi diantara susunan atap, panas yang masuk akan dapat berkurang sebelum menyebar keseluruh ruang huni.

b) Dinding

Di iklim tropis sebagian besar panas yang diterima bangunan sudah ditahan oleh atap, sedangkan bagian kulit bangunan yang lain dalam menerima panas jumlahnya lebih kecil, namun karena beban panas dalam bangunan merupakan akumulasi dari banyak elemen bangunan, maka prinsip penahanan dan penghalauan panas oleh atap dan dinding masih tetap signifikan keberadaannya (Mathews, 1986 dan Ahmad, 1998).

Pada bangunan Masjid 'ABMP' ini dinding di semua orientasi mengalami pembayangan akibat adanya sosoran yang lebar sebagai peneduh ruang serambi yang ada disekeliling bangunan. Dengan adanya efek pembayangan tersebut, panas yang mengenai dinding merupakan panas yang tidak langsung atau panas lingkungan. Sehingga dengan adanya sifat termal yang dimiliki dan efek pembayangan yang diterima oleh elemen dinding, maka panas yang masuk ke dalam ruang nilainya berkurang dan mengalami penundaan ketika dilepas.

Demikian pula dengan dinding transparan yang dimiliki Masjid 'ABMP' yang dalam hal ini berupa pintu dan jendela kaca, walau tidak memiliki *time lag*, sehingga panas memasuki bangunan melalui dinding transparan tersebut langsung ditransmisikan kedalam ruang, nilainya akan berkurang akibat adanya efek pembayangan tersebut.

Dengan demikian maka panas yang melalui dinding pada Masjid 'ABMP' ini bukan berupa panas yang langsung oleh radiasi matahari dan panas tersebut juga mengalami penundaan ketika akan dilepas kedalam ruang. Sehingga panas yang diterima ruang huni melalui dinding maupun dinding transparan nilainya mengalami pengurangan akibat adanya sifat termal yang dimiliki serta akibat adanya efek pembayangan.

c) Bukaannya

Bukaan yang ada pada masjid 'ABMP' merupakan jenis bukaan silang yang berada diseluruh orientasi bangunan dan memiliki bahan yang sama, yaitu terbuka tanpa penghalang dan bersifat permanen, yaitu terbuka terus menerus sepanjang hari. Kondisi tersebut dapat memudahkan angin memasuki bangunan, sehingga dapat membantu penghapusan panas yang masuk ke dalam bangunan maupun pendinginan struktur, namun dapat juga menambah temperatur didalam bangunan lebih dingin.

Bila dilihat dari posisinya, maka bukaan yang berada di antara susunan atap dapat berfungsi sebagai penghapus panas ketika terjadi perambatan panas, sehingga panas yang melauai atap sebelum mencapai keruang huni dapat dikurangi dengan adanya udara yang melalui bukaan tersebut. Demikian pula yang berada di atas pintu dan jendela, juga dapat mengurangi panas yang masuk tersebut, sehingga dalam hal ini panas yang memasuki ruang utamanya yang melewati atap mengalami proses penghapusan panas dari bukaan yang ada diantara susunan atap dan yang ada di atas pintu serta jendela. Hal ini akan mempengaruhi temperatur ruang huni. Namun bila dilihat dari luasannya yang hanya 10% dari luasan dinding terutama yang ada diatas pintu dan jendela, terlalu kecil untuk bukaan didaerah tropis, karena membutuhkan bukaan antara 20 – 60 % (Santosa, 2001)

2.2. Efektifitas Elemen Bangunan terhadap Kinerja Termal Bangunan

Dari uraian tentang karakteristik elemen bangunan yang dimiliki Masjid 'ABMP' tersebut, apabila dikaitkan dengan hasil simulasi, maka peran elemen bangunan terhadap kinerja termal bangunan adalah sbb :

a) Masjid 'ABMP' di Kabupaten Malang

Pada bulan terdingin bangunan Masjid mengalami penyinaran matahari selama 11 jam, yaitu pada jam 07.00 s/d jam 17.00, dengan posisi matahari berada pada lintasan yang condong ke Utara, karena pada bulan ini posisi *azimuth* antara 74° – 287° dan *altitude* antara 11° – 68° . sedangkan nilai radiasi matahari antara $66 - 629 \text{ W/m}^2$ dengan nilai maksimal terjadi pada jam 12.00, yaitu sebesar 629 W/m^2 . Dengan adanya bentuk atap yang memiliki kemiringan 30° , maka posisi matahari yang mendekati tegak lurus terhadap bidang atap adalah pada jam 11.00, 12.00 dan jam 13.00, dimana pada jam tersebut nilai radiasi berkisar antara $600 - 629 \text{ W/m}^2$. Ini berarti nilai radiasi matahari maksimal yang ada pada bulan terdingin dapat langsung mengenai atap pada jam tersebut. Hal ini dapat dilihat pada tabel *driving forces* dimana pada jam tersebut nilai *irradiance* paling besar (rata-rata diatas 50).

Bila dilihat dari besaran nilai radiasi matahari yang dimiliki oleh bulan terdingin ini, menurut Evans (1980) bukan nilai maksimal yang disyaratkan untuk atap pada iklim tropis lembab, yaitu sebesar 900 W/m^2 , sehingga dengan nilai tersebut dapat menghindari terjadinya *over heating* pada *temperatur indoor* (Ti). Hal ini dapat dilihat pada *elemental breakdown* hasil simulasi, dimana beban panas terbesar yang diterima atap sebesar 433 deka Wh/10 yang terjadi pada jam 15.00.

Dengan bahan atap yang memiliki sifat termal mudah menyerap dan melepas panas akibat memiliki *time lag* yang kecil, yaitu 0.3 jam serta memiliki sistem konstruksi tanpa ruang atap, maka panas yang melalui atap

tersebut langsung ditransmisikan ke ruang huni. Namun karena atap memiliki ventilasi silang dan pada bulan dingin ini memiliki kecepatan angin yang lebih besar dari yang disyaratkan oleh Evans (1980), maka sebelum sampai menyebar keseluruh ruang huni, panas sudah berkurang dengan adanya pergantian udara di dalam bangunan.

Sedangkan di bulan terpanas, lintasan edar matahari condong di bagian Selatan dengan posisi *azimuth* antara 107° – 253° dan *altitude* antara 06° – 79° . Pada bulan ini bangunan mendapat penyinaran matahari selama 12 jam atau lebih lama 1 jam dari bulan terdingin. Sedangkan nilai radiasi matahari antara $06 - 600 \text{ W/m}^2$ atau lebih kecil dibandingkan dengan bulan terdingin. Nilai ini juga lebih kecil dari nilai maksimal yang disyaratkan untuk atap, namun memenuhi syarat untuk dinding pada daerah tropis lembab (Evans, 1980).

b) Masjid 'ABMP' Di Kota Surabaya

Di kota Surabaya bangunan masjid 'ABMP' pada bulan terdingin (Juli) mengalami penyinaran matahari selama 11 jam, yaitu antara jam 07.00 – 17.00, dengan posisi matahari terletak pada *azimuth* 67° – 294° dan *altitude* antara 10° – 61° dan lintasan edar matahari condong di bagian Utara. Sedangkan sudut jatuh sinar matahari yang mendekati tegak lurus bidang atap terjadi pada jam 11.00 – 13.00 dengan nilai radiasi matahari berkisar antara $150 - 912 \text{ W/m}^2$. Dengan demikian maka bidang atap mendapat panas akibat radiasi matahari langsung dengan nilai maksimal yang dimiliki dan nilai ini merupakan nilai maksimal yang disyaratkan oleh Evans (1980) untuk atap. Bangunan mulai mendapat pembayangan akibat adanya sosoran yang lebar antara jam 09.00 – 15.00. sedangkan pada bulan terpanas (Oktober) bangunan mendapat penyinaran matahari selama 12 jam dengan posisi matahari terletak pada *azimuth* 98° – 263° dan *altitude* antara 04° – 86° pada bulan terpanas ini lintasan matahari lebih condong di bagian Selatan dan lebih lama berada di bagian Timur (7 jam) dari pada di bagian Barat (5 jam). Sudut jatuh sinar matahari yang mendekati tegak lurus bidang atap terjadi pada jam 10.00, 13.00 dan 14.00, dengan nilai radiasi matahari berkisar antara $49 - 1030 \text{ W/m}^2$, sedangkan bangunan mengalami pembayangan selama 7 jam, yaitu mulai jam 08.00 – 15.00.

Radiasi matahari, baik pada bulan terdingin dan terpanas, memiliki nilai yang maksimal yang disyaratkan oleh Evans (1980), sehingga akan mempengaruhi besarnya beban panas yang diserap oleh atap maupun dinding. Namun dengan adanya kecepatan angin yang juga lebih besar dari yang disyaratkan untuk membantu mencapai kenyamanan, maka angin dapat membantu mengurangi beban panas ketika memasuki bangunan melalui ventilasi silang baik yang berada diantara atap maupun diatas pintu dan jendela yang terbuka terus menerus sepanjang hari (*permanen*).

Hal tersebut dapat dilihat pada hasil simulasi, dimana *temperatur indoor* (T_i) lebih banyak memiliki durasi kenyamanan dari pada *temperatur outdoor* (T_o), walau pada bulan terpanas hanya terpaut 1 jam saja. Pada bulan terdingin bangunan berhasil memperbaiki kondisi *temperatur outdoor* (T_o) yang *overheating* menjadi *comfort*, kecuali pada jam setelah ada tambahan beban panas dari dalam bangunan sehingga kondisinya masih tetap *overheating*, namun nilai *K-hours*ya berkurang. Demikian pula dengan nilai T_o yang *underheating* pada pagi hari, dapat diperbaiki menjadi kondisi yang *comfort* dan bila dilihat dari nilai *K-hours underheating*nya, dari *temperatur outdoor* (T_o) yang memiliki nilai *K-hours underheating* -17.20 menjadi 0, sehingga *temperatur indoor* (T_i).

Berdasarkan uraian tentang kondisi termal masjid pada ketiga kota tersebut, maka terdapat persamaan yaitu *temperatur indoor* (T_i) lebih rendah dari *temperatur outdoor* (T_o) terutama ketika bangunan mulai mendapat panas radiasi matahari maupun ketika malam hari. Nilai tersebut dikarenakan kenaikan temperatur yang tidak terlalu besar, kecuali ketika mendapat tambahan panas dari dalam bangunan, sehingga ketika kondisi *temperatur outdoor* (T_o) tidak terlalu besar selisihnya dengan batas *comfort* dapat diperbaiki menjadi *comfort*.

KESIMPULAN

1. Kesimpulan

1.1. Kinerja Termal Bangunan

Dari hasil analisa terhadap hasil simulasi tentang kinerja termal bangunan Masjid 'ABMP' pada 3 kota, yaitu, kab. Malang, dan Surabaya, maka baik selama 24 jam maupun ketika di huni, maka Masjid 'ABMP' yang berada di kota Malang lebih baik kondisi termalnya dibanding dengan 2 kota lainnya, artinya kinerja termal bangunan dengan adanya kinerja termal elemen bangunan yang dimiliki Masjid 'ABMP' lebih berhasil pada iklim di kabupaten Malang dibanding kota Surabaya. Hal ini dapat dilihat dari durasi *comfort* yang ada pada *temperatur indoor* (T_i), yaitu pada bulan terdingin durasi *comfort* nya selama 21jam atau 87.5 % dari 24 jam dan pada waktu jam huni durasi *comfort* nya selama 4 jam atau 80 % dari 5 jam waktu huni , sedangkan pada bulan terpanas durasi *comfort* nya selama 16 jam atau 66.67 % dari 24 jam dan pada waktu jam huni durasi *comfort* nya selama 2 jam atau 40 % dari 5 jam.

1.2. Efektifitas Elemen Pembentuk Termal Terhadap Kinerja Termal Bangunan

Masjid dengan bahan atap yang memiliki thermal properties *U-value* 2.55 Wh/m²K dan *time lag* 0.3 jam, memiliki sifat mudah menerima panas dan mudah mentransmisikan panas kedalam ruang, namun dengan adanya

ventilasi yang terletak diantara susunan atap maupun yang terletak di atas pintu dan jendela yang memiliki bahan yang terbuka tanpa penghalang dapat menghapus panas yang masuk lewat atap tersebut. Demikian pula dengan panas yang masuk melalui dinding, dengan bahan yang memiliki *U-value* dan *time lag* yang berarti mudah menerima panas namun membutuhkan waktu tunda dalam melepas panas kedalam ruang sehingga dapat mengurangi penumpukan panas pada ruang. Dengan adanya efek pembayangan akibat adanya sosoran atap pada serambi disekeliling bangunan, maka panas yang masuk melalui dinding tersebut dapat berkurang. Dari fenomena tersebut, maka *temperatur indoor* (T_i) memiliki kondisi yang lebih rendah dari *temperatur outdoor* (T_o), karena kenaikan dan penurunan *temperatur indoor* (T_i) lebih kecil (< 1 deg C) dibandingkan dengan *temperatur outdoor* (T_o) yang rata-rata sebesar < 2 deg C. Dengan kenaikan dan penerunan yang kecil tersebut mengakibatkan Masjid yang memiliki *temperatur outdoor* (T_o) dengan nilai *K-hours overheating* rata-rata < 4 deg K dan nilai *K-hours underheating* $<$ dari garis batas kenyamanan dapat diperbaiki menjadi *comfort*. Sedangkan nilai *K-hours overheating* dan *underheating* lebih dari nilai tersebut hanya dapat dikurangi nilainya namun tetap tidak dapat diperbaiki menjadi *comfort*.

1.3. Peran Elemen Bangunan dalam Membentuk Termal Bangunan

Dari hasil analisa terhadap beban panas yang diterima oleh elemen bangunan Masjid 'ABMP' pada ketiga kota, yaitu kabupaten Malang, dan kota Surabaya didapat bahwa elemen bangunan atap memiliki kontribusi terbesar dalam menerima maupun melepas panas dibanding elemen bangunan lainnya.

Hal ini disebabkan karena atap dengan bahan yang *memiliki thermal properties*, yaitu *U-value* 2.55 Wh/m² dan *time lag* 0.3 jam, memiliki sifat yang mudah menerima dan mentransmisikan panas ke dalam ruang disamping itu atap memiliki luasan yang lebih besar dari elemen bangunan lainnya serta posisinya yang terkena radiasi matahari langsung.

2. Saran

Berdasarkan hasil analisa, maka untuk mendapatkan kinerja termal bangunan Masjid 'ABMP' yang sesuai dengan kondisi iklim yang di teliti adalah sbb:

- Untuk iklim kabupaten Malang, dengan kondisi temperatur yang lebih *underheating* terutama pada bulan terdingin, maka dengan desain Masjid yang terbuka dan adanya efek pembayangan dibutuhkan bahan yang memiliki *U-value* besar, yaitu > 2 Wh/m² dan *time lag* yang pendek, yaitu ≤ 3.5 jam, serta bukaan dengan bahan yang bersifat temporer (dapat dibuka dan ditutup), sehingga mudah menyerap panas, serta pada waktu malam hari ketika kondisi *underheating*, bukaan ditutup untuk mengisolasi

dingin dan menaikkan *temperatur indoor* (Ti). Dengan demikian dapat menaikkan temperatur yang *underheating*.

- Untuk kota Surabaya dengan kondisi temperatur yang cenderung *overheating*, membutuhkan bahan yang memiliki *U-value* kecil, yaitu $< 2 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ sehingga dapat mengisolasi panas atau menahan laju panas, dan *time lag* panjang, yaitu $> 3,5$ jam sehingga dapat menyimpan beban panas puncak dan melepaskannya pada periode temperatur rendah. Disamping itu dengan adanya bahan bukaan yang terbuka dapat berfungsi sebagai penghalau panas yang memasuki bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allard, Francis. 1998. *Ventilations in Buildings, A Design Handbook*, James & James Science Publisher, Ltd. London.
- Aynsley, R.M. et al. 1977. *Architectural Aerodynamics*. Applied Science Publisher. Ltd, London
- Egan, M. David. 1975. *Concepts in Thermal Comfort*, Prentice Hall. Inc. Engelwood Clifts, New Jersey
- Evans, Martin. 1980, *Housing, Climate, and Comfort*. The Architectural Press, Ltd, London
- Koenigsberger, O.H, et al. 1973. *Manual of Tropical Housing and Building*, Longman Group Limited, London.
- Lippsmeier, G. 1980. *Tropical Buildings (Tropenbau)*, Callwey Verlag, Munich
- Markus, T.A. & Morris, E.N. 1980. *Buildings, Climate and Energy*, Pitman Publishing Limited, London
- Santosa, M. 1997. *Arsitektur Tradisional Tropis Lembab*; sebuah referensi untuk pengembangan Arsitektur Indonesia, ITS Surabaya.
- Santosa, M. 2003. *Totalitas Arsitektur Tropis Tradisi, Modernitas dan Teknologi*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Sains Arsitektur pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Departemen Pendidikan Nasional, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Szokolay, S.V. 1980. *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*, Halsted Press, New York.
- Szokolay, S.V. 1987. *Thermal Design of Buildings*. RAAI education Division, Canberra
- Wonoraharjo, S & Aman Mostavan. 2002. *Thermal Performance of Low Cost Housing in Indonesia*, Proceedings International Symposium, Building Research and the Sustainability of the Built Environment in the Tropics.