

# KUALITAS PENCAHAYAAN ALAMI DAN PENGHAWAAN ALAMI PADA BANGUNAN DENGAN FASADE ROSTER

(Studi Kasus: Ruang Sholat Masjid Bani Umar Bintaro)

Christy Vidiyanti<sup>1</sup>, Siti Farah Diba Boru Tambunan<sup>2</sup>, Yasin Alfian<sup>3</sup>

Program Studi Arsitektur, Universitas Mercu Buana, Jakarta

Email: <sup>1</sup>christy.vidiyanti@gmail.com; <sup>2</sup>farawh@gmail.com; <sup>3</sup>snalfian@gmail.com

## ABSTRAK

Peran bukaan cahaya pada sebuah bangunan turut andil dalam menciptakan kualitas pencahayaan alami yang baik. Perlu direncanakan bukaan cahaya yang sesuai dengan lokasi bangunan tersebut. Lubang cahaya yang terlalu besar, dapat mengakibatkan cahaya matahari masuk dalam jumlah besar, yang sekaligus membawa radiasi masuk ke dalam bangunan. Hal ini mengakibatkan adanya dilema bahwa sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan akan mempengaruhi kondisi termal ruang. Sehingga dibutuhkan adanya kondisi dimana pencahayaan alami dan penghawaan alami pada ruang menjadi seimbang. Masjid Bani Umar ini selubung bangunannya menggunakan roster. Indonesia sebagai sebuah Negara tropis, menyebabkan memiliki musim panas yang panjang. Bangunan dengan selubung menggunakan roster, perlu dilakukan kajian terhadap cahaya matahari yang diterima oleh bangunan tersebut. Disebabkan bahwa roster membatasi cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang. Kondisi tersebut perlu pula diuji kondisi termalnya. Penelitian ini memfokuskan pada kajian kualitas pencahayaan alami dan penghawaan alami pada bangunan dengan selubung roster. Metode yang digunakan adalah metode evaluatif dengan pendekatan kuantitatif. Hasil kondisi penghawaan alami pada Masjid Bani Umar belum dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Kondisi pada Masjid Bani Umar masih lebih tinggi dari standar yang ditetapkan sehingga sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna adalah agak hangat dan hangat. Sedangkan kondisi pencahayaan alami pada Masjid Bani Umar juga belum memenuhi standar pencahayaan menurut SNI. Kondisi pencahayaan alami pada Masjid Bani Umar masih lebih rendah dari standar yang ditetapkan. Namun, untuk nilai kualitas pencahayaan alami, kondisi pencahayaan pada Masjid Bani Umar masih memenuhi standar. Hal ini menandakan bahwa pencahayaan alami Masjid Bani Umar belum dapat memenuhi standar namun pencahayaan yang dihasilkan seragam.

**Kata Kunci :** Pencahayaan alami, penghawaan alami, roster, kualitas termal, kualitas visual, masjid tropis

## 1. PENDAHULUAN

Bangunan sebagai salah satu sektor yang mengkonsumsi energi menjadi faktor penting dalam upaya penghematan energi. Arsitek sebagai salah satu perencana bangunan turut berperan dalam menentukan energi yang dikonsumsi oleh sebuah bangunan. Desain bangunan yang memanfaatkan potensi energi alam turut berpengaruh terhadap penurunan energi operasional yang digunakan. Pemanfaatan potensi energi alam untuk bangunan dapat berupa memanfaatkan angin untuk penghawaan alami, dan memanfaatkan cahaya matahari untuk pencahayaan alami.

Masjid Bani Umar adalah masjid yang terdapat pada daerah bintaro dengan menggunakan konsep arsitektur modern dan

menggunakan selubung bangunan pada area fasade utama berupa roster. Roster merupakan jenis bukaan cahaya yang nilai transparasinya lebih kecil dari kaca clear glass. Namun penggunaan roster menjadi lebih baik daripada kaca clear glass bila dilihat dari sisi bukaan udara. Material roster dapat menjadi fungsi ganda, yaitu selain sebagai media masuknya matahari ke dalam bangunan, namun juga menjadi penghalang (shading) masuknya sinar matahari yang berlebih dan sekaligus menjadi media masuknya aliran angin ke dalam bangunan. Untuk itu perlu dilakukan kajian pencahayaan alami sekaligus penghawaan alami terhadap bangunan yang menggunakan material roster sebagai selubung bangunan.

Pertanyaan penelitian yang diajukan pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana kualitas pencahayaan alami pada bangunan masjid Bani Umar?
- b. Bagaimana kualitas penghawaan alami pada bangunan masjid Bani Umar?

Hasil penelitian dapat dijadikan salah satu studi kasus kualitas pencahayaan alami dan penghawaan alami pada bangunan dengan selubung roster, yang nantinya akan berguna untuk menjadi masukkan dalam perancangan bangunan yang menggunakan selubung bangunan dengan material roster. Penelitian ini dapat menjadi salah satu alternatif strategi dalam upaya merancang ataupun meretrofit bangunan hemat energi, terkait dengan pemanfaatan pencahayaan alami dan penghawaan alami.

**2. METODOLOGI**

Penelitian ini akan mengaji salah satu strategi pemanfaatan pencahayaan alami siang hari dan penghawaan alami pada bangunan dengan konteks bangunan ibadah. Objek studi dari penelitian ini adalah masjid Bani Umar. Objek tersebut dipilih karena merupakan bangunan umum dengan selubung bangunan menggunakan material roster. Material roster merupakan salah satu media dalam memasukkan sinar matahari sekaligus sebagai media masuknya aliran angin. Sehingga akan dilihat kinerjanya terhadap kualitas pencahayaan alami dan penghawaan alami pada bangunan tersebut.

Penelitian ini merupakan penilaian kinerja pencahayaan alami dan penghawaan alami pada bangunan ibadah yaitu masjid bani umar melalui metode evaluatif dengan pendekatan kuantitatif. Analisis yang akan dilakukan adalah kinerja pemenuhan kebutuhan pencahayaan alami pada ruang dan kinerja dalam menghasilkan kualitas pencahayaan yang baik pada ruang serta kinerja dalam menghasilkan kondisi termal yang sesuai standar. Metode yang digunakan adalah metode evaluatif melalui studi observasi lapangan.

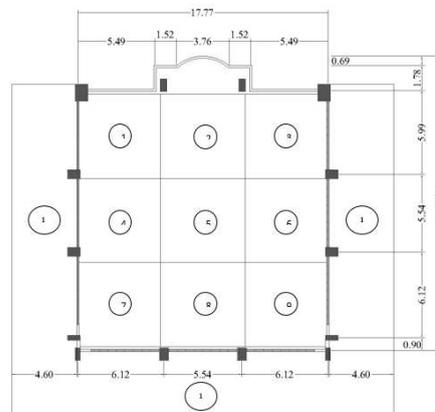
Pada penelitian ini akan diteliti bagaimana kualitas pencahayaan alami dan penghawaan alami pada Masjid Bani Umar. Untuk itu, dapat dipaparkan variabel yang terdapat pada penelitian ini, yaitu:

**Tabel 1 Variabel Penelitian**

Bidang	Variabel Terukur	Satuan
<b>VARIABEL BEBAS</b>		
Pencahayaan alami	Intensitas cahaya matahari global	lux
	Intensitas cahaya dalam ruang	lux
Penghawaan alami	Temperatur udara/Suhu Udara	
	Radiasi Matahari	
	Pergerakan Udara	
	Kelembapan Udara	
<b>VARIABEL TERIKAT</b>		
Pencahayaan alami	Transmisi tingkat pencahayaan	%
	Keseragaman tingkat pencahayaan	Ratio
	Daylight Factor	%
Penghawaan alami	PMV	Nyaman/Tidak nyaman

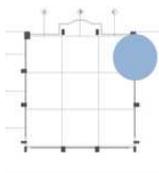
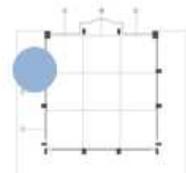
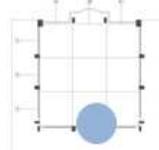
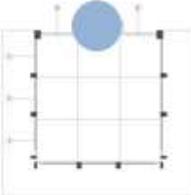
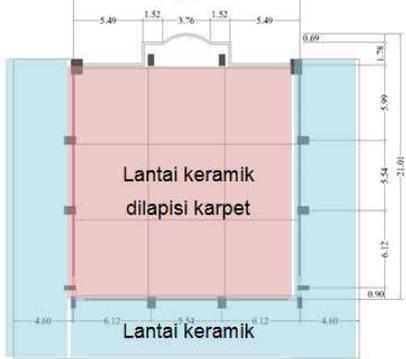
Masjid Raya Bani Umar berbentuk persegi dengan tempat ibadah yang terletak di dalam bangunan. Ruang shalat dibagi menjadi 2 (dua) lantai. Masjid ini terdiri dari 3 lantai, dimana lantai pertama merupakan area ruang serbaguna, ruang pengelola, wc dan tempat wudhu, sedangkan lantai kedua dan ketiga merupakan ruang shalat. Masjid ini menggunakan penghawaan alami melalui roster-roster pada dinding-dinding masjid. Secara geografi Kota terdekat : Tangerang Selatan, DKI Jakarta, Tangerang Koordinat : 6°27'03",106°6'8".

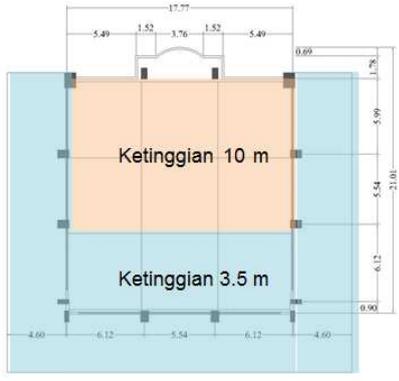
Titik Penelitian/pengukuran meliputi pengukuran suhu pada dalam bangunan. Pengukuran pada titik penelitian yaitu intensitas pencahayaan, suhu udara (Ta), kecepatan udara (Va), dan kelembaban udara (RH). Dimana titik penelitian di tentukan berdasarkan pembagian beberapa zona dari denah Masjid yang di jadikan tempat umat beribadah.



**Gambar 1 Titik Pengukuran**

**Tabel 2 Tabel observasi kondisi objek penelitian**

<p><b>Bukaan</b></p>	<p><b>Utara</b></p>  <p>Bukaan berupa pintu pada bagian dalam dan roster dengan tipe fixed dengan dimensi 60 cm x 60 cm x 7 cm yang langsung terbuka ke bagian luar.</p>  <p><i>Sisi utara ruang Shalat</i></p>  <p><i>Roster pada sisi utara bagian luar</i></p> <p><b>Selatan</b></p>  <p>Bukaan berupa pintu, namun masih terdapat ruangan tertutup.</p>  <p><i>Sisi selatan ruang shalat</i></p>	<p><b>Timur</b></p>  <p>Bukaan berupa pintu terbuka yang langsung menghadap ke bagian luar.</p>  <p><i>Sisi timur ruang shalat yang langsung terbuka</i></p> <p><b>Barat</b></p>  <p>Tidak ada bukaan karena merupakan sisi dengan mimbar.</p>  <p><i>Sisi barat ruang shalat</i></p>	<p><b>Lantai</b></p>  <p><i>Zona Berdasarkan Material Lantai Ruang Shalat</i></p> <p><b>Atap</b></p> <p>Dak beton</p>
----------------------	--	---	---

<b>Volume</b>	 <p style="text-align: center;">Zona Berdasarkan Ketinggian Plafond</p>
<b>Luas ruang shalat</b>	25.6 m x 26.97 m = 690.43 m <sup>2</sup>
<b>Dinding</b>	Batu bata dipleser kedua sisi, tebal 228 mm

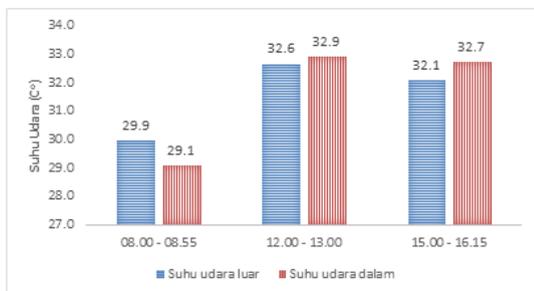
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Kondisi Penghawaan

##### Suhu Udara

Hasil kondisi suhu udara tertinggi terjadi pada titik 5 pada waktu siang hari yaitu pada suhu 35.4°C, dan suhu udara terendah terjadi pada hampir di keseluruhan titik pada waktu pagi hari yaitu pada kisaran suhu 32.2°C - 33.1°C.

Suhu udara pada siang hari dan sore hari cenderung sama dikarenakan suhu udara luar ruang pada waktu tersebut cenderung sama dan tinggi yaitu sekitar 32°C. Sedangkan suhu udara luar ruang pada waktu pagi hari cenderung rendah yaitu sekitar 32°C. Suhu udara luar ruang tersebut memiliki hubungan terhadap suhu udara di dalam ruang, dikarenakan baik suhu udara luar ruang maupun suhu udara dalam ruang sama-sama dipengaruhi oleh suhu radiasi matahari.

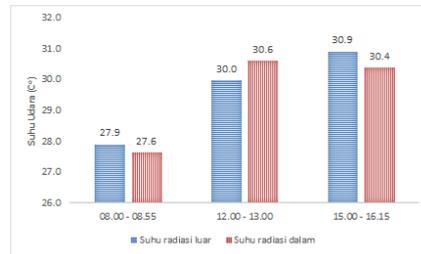


**Gambar 2 Perbandingan suhu udara area luar dan suhu udara area dalam**

##### Suhu Radiasi

Hasil kondisi suhu radiasi area luar ruang sholat tertinggi terjadi pada pada waktu sore hari yaitu pada titik 10 dengan suhu 31.4°C, dan suhu udara terendah terjadi pada hampir di keseluruhan titik pada waktu pagi hari dengan suhu terendah yaitu pada 27.2°C pada titik 11. Sedangkan hasil kondisi suhu radiasi area dalam ruang sholat tertinggi terjadi pada pada waktu siang dan sore hari yaitu pada suhu 30.9°C, dan suhu udara terendah terjadi pada hampir di keseluruhan titik pada waktu pagi hari yaitu pada kisaran suhu 30°C - 30.9°C.

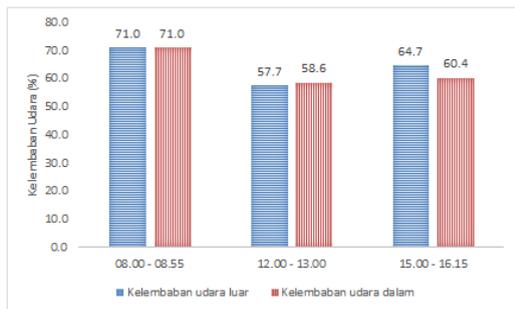
Suhu radiasi pada siang hari dan sore hari cenderung sama dikarenakan suhu radiasi luar ruang pada waktu tersebut cenderung sama yaitu sekitar 30.4°C. Sedangkan suhu udara luar ruang pada waktu pagi hari cenderung rendah yaitu sekitar 27.9°C. Suhu radiasi luar ruang tersebut memiliki hubungan terhadap suhu radiasi di dalam ruang, dikarenakan baik suhu radiasi luar ruang maupun suhu radiasi dalam ruang sama-sama dipengaruhi oleh suhu radiasi matahari.



**Gambar 3 Perbandingan suhu radiasi area luar dan suhu radiasi area dalam**

##### Kelembaban Udara

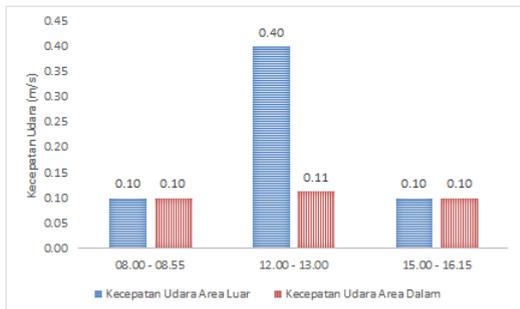
Hasil kondisi kelembaban udara ini berbanding terbalik dengan kondisi suhu udara. Suhu udara yang rendah, menghasilkan kelembaban yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Hasil kondisi suhu kelembaban udara area luar ruang sholat tertinggi terjadi pada pada waktu pagi hari yaitu dengan kelembaban udara 71% pada keseluruhan titik, dan kelembaban udara terendah terjadi pada hampir di keseluruhan titik pada waktu siang hari dengan kelembaban udara berkisar antara 56% - 61%. Sedangkan hasil kondisi kelembaban udara area dalam ruang sholat tertinggi terjadi pada pada waktu pagi hari yaitu pada kelembaban udara 71% yang terjadi di keseluruhan titik, dan kelembaban udara terendah terjadi pada waktu pagi dan sore hari yaitu pada kisaran kelembaban udara 56% - 66%.



**Gambar 4 Perbandingan kelembaban udara area luar dan kelembaban udara area dalam**

**Kecepatan Udara**

Kecepatan udara tertinggi terjadi pada waktu siang hari pada area luar ruang yaitu sebesar 0.4 m/s dan pada area dalam sebesar 0.11 m/s sehingga suhu radiasi area luar pada waktu siang hari memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan suhu radiasai area dalam pada waktu tersebut. Sedangkan pada waktu pengukuran pagi hari dan sore hari, baik pada area ruang dalam dan area ruang luar, memiliki kecepatan udara yang sama yaitu sebesar 0.1 m/s.



**Gambar 5 Perbandingan kecepatan udara area luar dan kecepatan udara area dalam**

**3.2. Sensasi Kenyamanan Termal**

Nilai metabolisme yang dipakai adalah untuk kondisi sholat yang dikategorikan sebagai berdiri santai atau aktivitas sederhana yaitu dengan nilai rate metabolisme sebesar 1.2. sedangkan nilai pakaian yang digunakan terdiri dari dua, yaitu untuk laki-laki adalah baju ringan lengan panjang (0.20 Clo) dan celana panjang normal (0.25 Clo), sehingga total nilai pakaian untuk pria yaitu 0.45 Clo. Sedangkan untuk wanita adalah blus ringan lengan panjang (0.15 Clo), celana terusan (0.28 Clo) luaran lengan panjang berkerah tipis sebagai pengganti mukenah (0.26 Clo), sehingga total nilai pakaian untuk wanita untuk area luar ruang sholat adalah sama dengan laki-laki yaitu 0.45 Clo dan total nilai

pakaian untuk wanita untuk area dalam ruang sholat adalah 0.69 Clo. Kondisi sensasi termal ruang shalat didapatkan melalui program diagram CBE Thermal Comfort Tool pada <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>.

**Tabel 3 Kondisi Sensasi Termal Ruang pada Area Luar Ruang**

	08.00 - 08.55	12.00 - 13.00	15.00 - 16.15
Suhu Udara (C <sup>0</sup> )	29.9	32.6	32.1
Suhu Radiasi (C <sup>0</sup> )	27.9	30.0	30.9
Kecepatan Udara (m/s)	0.10	0.10	0.10
Kelembaban Udara (%)	71.0	57.7	64.7
Nilai Metabolisme (met)	1.2	1.2	1.2
Nilai Pakaian (Clo)	0.45	0.45	0.45
PMV	1.43	2.09	2.22
PPD	47%	81%	85%
Sensasi Termal	Sedikit Hangat	Hangat	Hangat

**Tabel 4 Kondisi Sensasi Termal Ruang pada Area Dalam Ruang jam 08.00 – 08.55**

	08.00 - 08.55	
	Laki-	Wanita
Suhu Udara (C <sup>0</sup> )	29.1	29.1
Suhu Radiasi (C <sup>0</sup> )	27.6	27.6
Kecepatan Udara (m/s)	0.10	0.10
Kelembaban Udara (%)	71.0	71.0
Nilai Metabolisme (met)	1.2	1.2
Nilai Pakaian (Clo)	0.45	0.69
PMV	1.24	1.49
PPD	37%	50%
Sensasi Termal	Sedikit Hangat	Sedikit Hangat

**Tabel 5 Kondisi Sensasi Termal Ruang pada Area Dalam Ruang jam 12.00-13.00**

12.00-13.00		
	Laki-	
	Laki	Wanita
Suhu Udara (C°)	32.9	32.9
Suhu Radiasi (C°)	30.6	30.6
Kecepatan Udara (m/s)	0.11	0.11
Kelembaban Udara (%)	58.6	58.6
Nilai Metabolisme (met)	1.2	1.2
Nilai Pakaian (Clo)	0.45	0.69
PMV	2.24	2.34
PPD	86%	90%
<b>Sensasi Termal</b>	Hangat	Hangat

**Tabel 6 Kondisi Sensasi Termal Ruang pada Area Dalam Ruang jam 15.00-16.15**

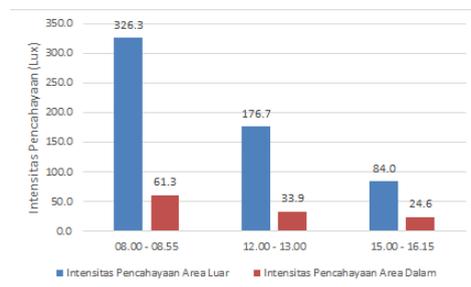
15.00-16.15		
	Laki-	
	Laki	Wanita
Suhu Udara (C°)	32.7	32.70
Suhu Radiasi (C°)	30.4	30.39
Kecepatan Udara (m/s)	0.10	0.1
Kelembaban Udara (%)	60.4	60.375
Nilai Metabolisme (met)	1.2	1.2
Nilai Pakaian (Clo)	0.45	0.69
PMV	2.20	2.31
PPD	85%	88%
<b>Sensasi Termal</b>	Hangat	Hangat

Sensasi kenyamanan termal pada area teras ruang sholat Masjid Bani Umar adalah sedikit hangat pada pagi hari, dan hangat pada siang dan sore hari. Sedangkan sensasi termal pada area dalam ruang sholat adalah sedikit hangat untuk kondisi pagi, serta hangat pada kondisi siang dan sore hari. Hal ini menandakan bahwa sensasi termal yang dirasakan antara area teras dan area sholat adalah sama. Penelitian ini mencoba menguji sensasi termal yang dirasakan oleh jamaah wanita dan pria dengan nilai insulasi pakaian selisih 0.24 lebih tinggi pada jamaah wanita. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan sensasi termal yang dirasakan oleh jamaah wanita dan jamaah pria.

### 3.3. Kondisi Pencahayaan Alami

#### Intensitas Pencahayaan Alami

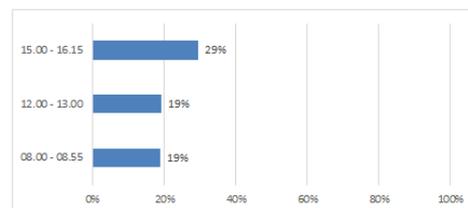
Hasil kondisi pencahayaan alami area luar ruang sholat tertinggi terjadi pada titik 10 di keseluruhan waktu. Hal ini dikarenakan pada titik 10 tidak ada penghalang sinar matahari, sehingga sinar matahari yang masuk dapat maksimal. Sedangkan hasil kondisi pencahayaan alami area dalam ruang sholat tertinggi terjadi pada pada waktu pagi hari yaitu 65 lux, dan pencahayaan alami terendah terjadi pada sore hari yaitu 25 lux. Nilai pencahayaan alami pada area dalam ruang sholat tidak ada yang memenuhi standar pencahayaan alami untuk masjid yaitu sebesar 200 lux.



**Gambar 6 Perbandingan intensitas pencahayaan area luar dan intensitas pencahayaan area dalam**

Nilai intensitas pencahayaan alami ruang dalam ini dipengaruhi oleh intensitas pencahayaan alami pada area luar. Sehingga dapat dilihat pada gambar diatas, bahwa semakin tinggi intensitas pencahayaan alami di luar, maka akan semakin tinggi intensitas pencahayaan alami di dalam, dengan catatan kondisi bukaan cahaya yang sama.

#### Transmisi Tingkat Pencahayaan



**Gambar 7 Transmisi tingkat pencahayaan**

Nilai transmisi pencahayaan ini merupakan persentase banyaknya sinar matahari yang dapat masuk ke area dalam bangunan. Pada gambar diatas menunjukkan bahwa nilai transmisi pencahayaan tertinggi terjadi pada sore hari yaitu sebesar 29%.

### **Keseragaman Tingkat Pencahayaan**

Untuk mengetahui nilai kualitas pencahayaan alami pada area sholat masjid Bani Umar maka akan dihitung nilai keseragaman tingkat pencahayaan seperti ditunjukkan pada tabel di bawah.

**Tabel 7 Keseragaman tingkat pencahayaan**

	min/ max	average/ max	min/ average
08.00 - 08.55	0.62	0.70	0.90
12.00 - 13.00	0.51	0.74	0.69
15.00 - 16.15	0.69	0.80	0.86

Keseragaman tingkat pencahayaan tertinggi dicapai pada kondisi pagi hari dengan nilai min/average. Hal ini menandakan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara intensitas pencahayaan terendah dan intensitas pencahayaan rata-rata pada ruang tersebut. Sedangkan nilai keseragaman pencahayaan terendah terdapat pada kondisi siang hari pada nilai min/max yang menandakan bahwa nilai intensitas pencahayaan terendah cukup berbeda dengan intensitas pencahayaan tertinggi, namun nilai ini masih memenuhi standar kontras pencahayaan menurut SNI yaitu 1:40 atau 0.025.

## **4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

### **4.1. Kesimpulan**

Hasil kondisi penghawaan alami pada Masjid Bani Umar belum dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Kondisi pada Masjid Bani Umar masih lebih tinggi dari standar yang ditetapkan sehingga sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna adalah agak hangat dan hangat.

Sedangkan kondisi pencahayaan alami pada Masjid Bani Umar juga belum memenuhi standar pencahayaan menurut SNI. Kondisi pencahayaan alami pada Masjid Bani Umar masih lebih rendah dari standar yang ditetapkan. Namun, untuk nilai kualitas pencahayaan alami, kondisi pencahayaan pada Masjid Bani Umar masih memenuhi standar. Hal ini menandakan bahwa pencahayaan alami Masjid Bani Umar belum dapat memenuhi standar namun pencahayaan yang dihasilkan seragam.

Sehingga kesimpulan akhir dari penelitian ini adalah Masjid Bani Umar belum dapat menyesuaikan dengan standar baik untuk penghawaan alami dan pencahayaan alaminya.

### **4.2. Rekomendasi**

Masjid Bani Umar perlu menambahkan bukaan pada area masjid ruang sholat. Bukaan ini diharapkan dapat mempertinggi nilai kecepatan udara sehingga suhu udara dapat direduksi. Penambahan bukaan ini juga diharapkan dapat mengoptimalkan sinar matahari yang masuk sehingga pencahayaan alami pada ruang masjid dapat meningkat.

Diperlukan penelitian lanjutan terkait dengan desain bukaan yang dapat memperbaiki nilai penghawaan alami dan pencahayaan alami pada ruang sholat Masjid Bani Umar.

## **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Bennett, Kristin Mc William (2008) :Light in Architecture: Natural and Artificial Lighting Techniques that Brighten Our Sacred Spaces; Thesis, Department of Architecture; The University of Utah.
- Ferreira, Camila; Soares, Carla Patrícia; Rocha, Paula (2011) :Research on Energy Saving Potential of Daylighting in Tropical Climates: A Case Study of The Building Ibope, Brazil; Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney.
- Handayani, Teti (2010) : Efisiensi Energi Dalam Rancangan Bangunan, Spektrum Sipil, Vol. 1, No. 2 : 102 - 108, Agustus 2010.
- Heschong, Lisa (2002) :Daylighting And Human Performance.ASHRAE Journal.
- IEA International Energy Agency (2000) : Daylight in Buildings A Source Book on Daylighting System and Components.
- IEA International Energy Agency (2010) :Daylight in Buildings, ECBS Annex 29 / SHC Task 21 Project Summary Report.AECOM Ltd; United Kingdom.
- IESNA (2010) :The IESNA Lighting Handbook Reference & Application edisi 9. Illuminating Engineering Society of North America, New York.
- Los Alamos National Laboratory (2013). Los Alamos National Laboratory Sustainable Design Guide:The Building Architectural Design. US Department of Energy.
- Marc Fontoynt, Aris Tsangrassoulis, Afroditi Synnefa (2004) :SynthLight HandbookChapter 2: Daylighting.
- Sangkertadi, Prof.Dr.Ir.; Arsitektur Bioklimatik: Hemat Energi, Nyaman, dan Ramah Lingkungan; Pidato ilmiah

- pengukuhan guru besar; Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi; 9 April 2008; diambil dalam [https://www.academia.edu/4375717/Arsitektur\\_Bioklimatik](https://www.academia.edu/4375717/Arsitektur_Bioklimatik).
- Szokolay, Steven V. (2007) :Solar Geometry. Passive and Low Energy Architecture International (PLEA Notes).
- Veitch, J. A. (2006). Lighting For High-Quality Workplaces. In: Clements-Croome, Derek (Ed.), Creating the Productive Workplace, seconded. Taylor & Francis, London, pp. 206–222.
- BSN (2010). Revisi SNI 03-6197: Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan
- BSN (2001). SNI 03-2396-2001 :Tata Cara Perancangan Pencahayaan Alami Siang Hari untuk Rumah dan Gedung