

**TEKNOLOGI PENYEJUKAN DAN PENYAMANAN UDARA UNTUK  
PENGUDARAAN MASJID DI MALAYSIA: TINJAUAN DALAM  
KONTEKS PERADABAN ISLAM**

(Refrigeration and Air Conditioning Technology for Mosque Ventilation in Malaysia:  
An Observation from Islamic Civilization Context)

<sup>1</sup> AZMAN HUSSIN\*

<sup>1</sup> LIM CHIN HAW

<sup>2</sup> ELIAS SALLEH

<sup>1</sup> SOHIF MAT

<sup>1</sup> Institut Penyelidikan Tenaga Suria (SERI), Universiti Kebangsaan Malaysia,  
43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

<sup>2</sup> Kuliyah Senibina & Persekitaran Rekabentuk, Universiti Islam Antarabangsa,  
50728 Gombak, Kuala Lumpur, Malaysia

---

**ABSTRAK**

Masjid yang lestari dan mesra pengguna adalah simbol kepada kesederhanaan dan menjadi contoh sebagai model ikutan dalam mengelakkan pembaziran dan kemusnahan alam serta mencerminkan kegemilangan sesuatu tamadun daripada aspek sains dan teknologi. Kajian telah dilakukan di Masjid Negeri Pulau Pinang bagi menilai kesan penggunaan teknologi penyejukan dan penyaman udara daripada aspek keselesaan terma dalaman dan penggunaan tenaga elektrik. Dua model kajian digunakan iaitu Model Asas (MA) dan Model Pengoptimum (MPO) yang diuji di lapangan sebenar dan turut mengambil kira tahap penerimaan terma rasa responden. Suhu bilik bagi Model MA dilaras pada operasi normal iaitu  $22\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  manakala Model MPO diuji pada suhu bilik neutral  $26\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  dengan beza kenaikan sebanyak 4K. Hasil keputusan mendapati Model MPO berupaya menjimatkan penggunaan tenaga elektrik sebanyak 25% tanpa mengabaikan tahap keselesaan terma Jemaah. Hal ini dibuktikan melalui soal selidik dan maklum balas

---

\*Corresponding author: Azman Hussin, Institut Penyelidikan Tenaga Suria (SERI), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia, mel-e: azmanhussin1@gmail.com  
Diserahkan: 17 June 2019  
Diterima: 15 September 2019  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17576/JH-2020-1201-02>

oleh 812 orang jemaah yang berada dalam suasana persekitaran kedua-dua model ini. Penemuan membuktikan bahawa dengan mengamalkan pengurusan dan operasi berhemah, penggunaan tenaga elektrik untuk teknologi penyejukan dan penyamanan udara dapat dijimatkan. Ini selaras dengan anjuran al-Quran dan Sunnah untuk masjid lestari dan sebagai contoh ikutan bagi bangunan lain.

**Kunci kata:** Masjid; kelestarian; al-Quran dan Sunnah; teknologi dan peradaban

### **ABSTRACT**

*A sustainable and user friendly mosque is a symbol of moderation in optimizing the use of resources, avoiding wastage and damage to the environment, as well as reflects the glory of civilization in the science and technology aspect. A study has been conducted at Penang State mosque to access the impact of use of cooling and air-conditioning technology on aspects of indoor thermal comfort and electricity consumption. Two research models used namely Basic Model (MA) and Optimizer Model (MPO) were test in field study and also took into account the acceptance level and thermal sense among worshippers. The room temperature of the MA Model was adjusted to normal operating condition at  $22\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  while the MPO Model was tested at neutral room temperature of  $26\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  with a 4K incremental difference. The results show that the MPO Model is capable of saving 25% of electricity consumption without compromising the comfort level of the congregation. This is evidenced by the research and feedback of 812 worshippers in the environmental of both models that they exposed. The findings show that operational of air-conditioning system in the mosque will significantly reduce the usage of electricity. This is in line with the Quran and Sunnah that calling the mosque to be sustainable and a role-model to the other buildings.*

**Keywords:** Mosque; sustainability; al-Quran dan Sunnah; technology and civilization

### **PENGENALAN**

Teknologi ditakrifkan sebagai aplikasi pengetahuan sains yang boleh memanfaatkan serta menyelesaikan masalah manusia yang dihadapi dalam kehidupan seharian. Dalam kehidupan seharian, manusia sentiasa berinovasi dan ia menjadi kesinambungan daripada zaman dahulu hinggalah ke zaman sekarang. Tanpa sains dan teknologi, kehidupan manusia di muka bumi adalah sukar dan rumit. Pihak Barat pernah melalui zaman gelap iaitu zaman yang tiada peradaban daripada aspek keagamaan, pentadbiran, ekonomi dan ilmu pengetahuan (Mohd Zariat Abdul Rani 2019). Pembangunan teknologi dan sains berlaku sepanjang zaman kerana manusia perlu membangunkan

kediaman, pertanian, perindustrian, pengangkutan, rumah ibadat dan sebagainya. Ini dijelaskan seperti kehebatan zaman Mesir Purba. Piramid yang dibina pada zaman itu adalah kelangsungan peradaban zaman dahulu yang menggunakan sokongan daripada teknologi pada masa itu. Begitu juga kehebatan teknologi dan sains pada hari ini. Sebagai contoh, pembinaan menara Kuala Lumpur pada tahun 1995 dengan ketinggian 421 meter dan adalah yang ketujuh tertinggi di dunia manakala Menara Berkembar Petronas yang siap dibina pada tahun 1996 adalah bangunan tertinggi di dunia pada ketika itu. Kegemilangan peradaban manusia dipengaruhi oleh kekuatan dan kehebatan sains dan teknologi yang dimiliki oleh masyarakat mereka pada ketika itu (Mohd Yusof Haji Othman 2017).

Islam menggariskan bahawa pembangunan teknologi dan sains adalah yang seiring dengan ajaran agama, tidak terpisah dan sentiasa merujuk al-Quran dan Sunnah. Abdus Salam (1995) telah mengenalpasti bahawa terdapat 750 ayat di dalam al-Quran memberikan galakan kepada manusia untuk mengkaji tentang alam semesta, memerhati dan mencerap alam ciptaan Allah yang mana kajian dijalankan menggunakan teknologi perkakasan, peralatan serta bahan sokongan. Saintis Islam cukup hebat dan berada dalam semua bidang sains khususnya astronomi, sains hayat dan ilmu senibina khususnya pada zaman perkembangan Islam. Dari perspektif Islam, sains dan teknologi adalah suatu mekanisma yang terbaik dan melengkapi kehidupan seharian. Agama adalah tunjang kepada kemajuan sains dan teknologi (Mohd Yusof 2014).

Makalah ini membincangkan mengenai aplikasi sains dan teknologi dalam peradaban Islam dengan fokus kajian kes terhadap teknologi penyejukan dan penyamanan udara untuk pengudaraan dalaman masjid. Kajian kes dilakukan di bangunan masjid Negeri Pulau Pinang dengan strategi pengurusan berhemah untuk mengawal penggunaan tenaga elektrik dan dalam masa yang sama berupaya membekalkan suhu selesa yang optimum bagi bangunan masjid untuk keselesaan jemaah. Kajian terdahulu mendapati bahawa bangunan masjid yang menggunakan teknologi penyejukan dan penyamanan udara untuk menghasilkan suhu bilik yang sejuk telah mengabaikan penggunaan tenaga elektrik dan menyebabkan kos penggunaan elektrik bulanan yang tinggi (Hussin et al. 2015). Pemilihan bangunan masjid Negeri Pulau Pinang sebagai model kajian kes adalah bertepatan berdasarkan saiz penyejukan lantai yang besar dan menanggung kos elektrik bulanan yang tinggi (Hussin et al. 2019). Dua model digunakan dalam kajian kes iaitu Model Asas (MA) dan Model Pengoptimum (MPO) dan dilakukan secara pengukuran lapangan. Serentak dengan itu, soal selidik terma rasa turut dilakukan bersama pengukuran keselesaan terma dalaman di lapangan. Kajian ini amat signifikan dan penting kerana kebanyakan bangunan masjid lama dan baharu telah dilengkapi dengan sistem penyejukan dan penyamanan udara tetapi tidak mempunyai akses kepada penilaian

tahap penyelesaian dalaman dan penggunaan tenaga menyebabkan kemungkinan berlakunya pembaziran dan tidak mencerminkan masjid yang lestari.

## **KAJIAN LITERATUR**

Masjid adalah tempat ibadah untuk orang Islam membersihkan diri daripada aspek fizikal dan kerohanian. Bagi memastikan kelancaran dalam melakukan ibadah, faktor penyelesaian di dalam masjid perlu dititikberatkan. Masjid yang lestari, selesa dan mesra pengguna adalah simbol kepada kesederhanaan dan menjadi contoh sebagai model ikutan. Pada zaman Rasulullah SAW, masjid Quba merupakan masjid pertama yang dibina oleh baginda Rasulullah SAW dalam penghijrahan ke Madinah. Masjid Quba adalah model kepada kesederhanaan dan takwa kepada Allah. Ini jelas seperti di dalam Surah al-Taubah (108), Allah berfirman:

“Janganlah kamu bersembahyang dalam masjid itu selama-lamanya. Sesungguhnya masjid yang didirikan atas dasar takwa (Masjid Quba), sejak hari pertama adalah lebih patut kamu solat di dalamnya. Di dalamnya masjid itu ada orang-orang yang ingin membersihkan diri. Dan sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bersih”.

Keselesaian di dalam masjid adalah penanda aras bagi mencerminkan sama ada masjid tersebut mempunyai ciri-ciri kelestarian yang sempurna atau sebaliknya. Ia merangkumi aspek seperti iklim dalaman (suhu selesa), sistem pengudaraan (pergerakan dan kelajuan angin), kualiti udara dan sebagainya (Mohd Sahabuddin 2016). Konsep masjid yang lestari bukanlah konsep yang asing di Malaysia. Kebanyakan masjid di Malaysia telah dibina dengan bersifat lestari dan mapan sejak kedatangan Islam ke Nusantara. Keselesaian suhu dalaman tidak menjadi isu di kalangan penghuni bangunan (Mohd Sahabuddin & Gonzalez-Longo 2015). Terdapat contoh antara masjid tertua di Malaysia yang boleh menjadi rujukan sehingga hari ini dan masih mengekalkan identitinya yang tersendiri seperti masjid Kampong Laut di Kelantan (1730-an) dan masjid Tenkera di Melaka (1720-an). Beberapa contoh reka bentuk pembinaan bangunan masjid di serata dunia telah dibuku dalam *The Mosque and the modern world: Architects, Patrons and Designs since the 1950s* oleh Renata & Hasan (1997).

Peningkatan suhu dalaman kerana faktor suhu luar yang tinggi saban tahun telah menyebabkan pihak pengurusan masjid mencari alternatif lain. Teknologi penyejukan dan penyamanan udara sebagai pengudaraan baharu di dalam masjid mula diperkenalkan. Model masjid al-Nabawi Madinah di Arab Saudi menjadi model rujukan. Pembesaran Masjid an-Nabawi pada tahun 1985 oleh Raja Fahd telah memberikan satu anjakan terhadap bangunan masjid. Teknologi penyejukan dan penyamanan udara telah dipasang dan digunakan untuk membantu menghasilkan suhu

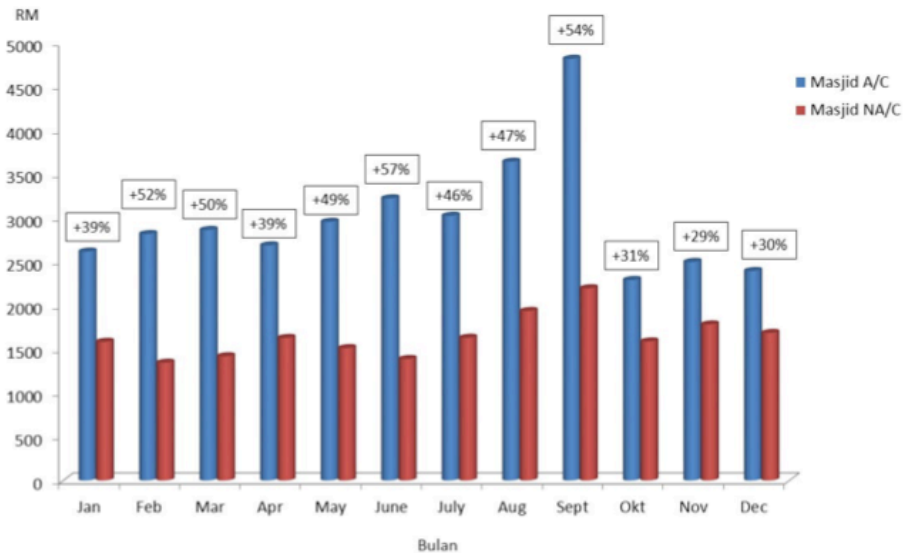
yang selesa untuk Jemaah khususnya tetamu umrah dan haji. Hasil keputusannya amat positif kerana disebabkan oleh faktor cuaca di Arab Saudi yang beriklim panas dan kering (Anon 2019).

Di Malaysia, kemasukan teknologi penyejukan penyamanan udara lebih cenderung digunakan di bangunan pejabat dan rumah kediaman dalam tempoh 20 tahun kebelakangan (Mahlia et al. 2002). Tidak hairanlah pihak pengurusan masjid di Malaysia cuba mengaplikasikan teknologi penyejukan dan penyamanan udara di masjid-masjid yang mereka tadbir. Sehingga tahun 2013, hampir separuh daripada masjid dan surau di setiap negeri di Pulau Pinang memasang sistem penyamanan udara (Hussin et al. 2018). Sistem penyejukan dan penyamanan udara mengikut kapasiti yang sesuai dipasang di ruangan dalaman masjid untuk menghasilkan keselesaan terma dalaman yang sempurna. Definisi tahap keselesaan dalam bangunan berpenyamanan udara adalah suhu yang menyenangkan perasaan dan ia mestilah diterima oleh majoriti penghuni tersebut (ANSI/ASHRAE Standard-55, 2013). Keadaan ini juga dipengaruhi oleh pergerakan dan perasaan manusia yang berada pada tahap yang paling baik apabila tubuh badan tidak melakukan apa-apa tindakbalas bagi menyesuaikan diri untuk mengekalkan keseimbangan haba. Ini bermakna tubuh badan tidak akan mengeluarkan peluh disebabkan oleh kepanasan dan badan menggigil disebabkan kesejukan ataupun memakai perlindungan badan.

Tahap penerimaan suhu bilik oleh setiap penghuni bangunan adalah berbeza sama sekali. Mengikut piawaian *ANSI/ASHRAE Standard-55* (2013), keselesaan terma dalaman dipengaruhi oleh enam faktor iaitu kadar metabolisma, penabatan pemakaian, suhu udara, suhu bahang, kelajuan angin dan kelembapan udara. Daripada enam faktor tersebut, ANSI/ASHRAE mencadangkan secara umumnya, suhu bilik berpenyamanan udara bagi penghuni adalah normal antara 22~26°C. Walau bagaimanapun, menterjemahkan keadaan persekitaran yang normal dan selesa adalah tidak sama antara setiap penghuni. Ini bermaksud, keadaan di Malaysia adalah tidak sama seperti yang dicadangkan oleh Piawaian ANSI/ASHRAE (ANSI/ASHRAE Standard 2013) kerana faktor cuaca, persekitaran, proses adaptasi dan tindakbalas bagi menyesuaikan diri dan mengekalkan keseimbangan haba oleh penghuni. Proses ini sentiasa berubah mengikut masa dan keadaan persekitaran. Disebabkan kurang pengetahuan, kebanyakan pengurusan bangunan di Malaysia telah menggunakan suhu bilik tersebut (Saidur 2009). Pemerhatian mendapati, keadaan ini turut dilakukan di bangunan masjid. Suhu bilik yang dilaras tanpa mengambil kira perasaan dan penerimaan penghuni dan sama ada diterima oleh jemaah ataupun tidak adalah sangat merugikan. Bagi bangunan masjid, suhu bilik yang ditemui dalam bangunan masjid ialah antara 26~30°C berdasarkan pengukuran lapangan dan terma rasa responden (Hussin et al. 2015). Penemuan yang diketengahkan ialah seperti kesan adaptasi yang tinggi terhadap suhu persekitaran luar, masa beroperasi yang berbeza dan

secara berkala telah berjaya mempengaruhi jemaah masjid yang berasa normal dalam kawasan yang dihuni.

Terdapat jurang yang dikenal pasti iaitu didapati bahawa pengurusan masjid menggunakan teknologi penyejukan dan penyamanan udara untuk bangunan masjid tanpa menilai kesan operasi terhadap suhu bilik dan tenaga elektrik serta penerimaan suhu bilik selesa yang optimum di kalangan Jemaah. Terdapat laporan yang menyatakan penggunaan penyaman udara di bangunan masjid di Malaysia telah memberi kesan kepada kos operasi (Hussin et al. 2019). Perkara ini turut diketengahkan oleh Budaiwi & Abdou (2013) di Arab Saudi yang mendapati hampir semua masjid telah menggunakan suhu bilik yang mengikut piawaian ASHRAE menyebabkan jemaah tidak selesa. Hal ini turut menjejaskan kos penggunaan elektrik kerana terpaksa berbelanja besar untuk penyejukan. Rajah 1 menunjukkan perbandingan kos kegunaan elektrik bagi masjid yang menggunakan sistem penyejukan penyamanan udara dan masjid yang tidak menggunakannya. Didapati, masjid yang menggunakan sistem penyejukan penyamanan udara menggunakan tenaga elektrik yang tinggi iaitu dengan peningkatan sebanyak antara 29% hingga 57% setiap bulan. Keadaan ini amat membimbangkan kerana pengurusan masjid perlu menyediakan peruntukan bulanan 50% lebih tinggi. Kenaikan kos dialami secara langsung oleh pentadbiran masjid khususnya melibatkan tabung kewangan masjid yang rata-rata adalah daripada sumbangan jemaah. Keadaan ini adalah suatu pembaziran kerana masjid memang



RAJAH 1 Kos Elektrik Bagi Dua Teknik Pengudaraan

Sumber: Data penulis

menghadapi kekangan kewangan dan tadbir urus yang sempurna disebabkan oleh kos perbelanjaan operasi yang tinggi (Muhamad Faizal & Firdaus 2018). Maka timbul persoalan dalam memberikan keselesaan suhu sejuk yang optimum untuk Jemaah, adakah berlaku pembaziran tenaga dan kos elektrik? Bagaimana aspek ini mencapai amalan kelestarian bangunan? Sedangkan penyelidik mengakui bahawa suhu yang optimum adalah sangat signifikan dengan tenaga elektrik yang dijana dan tertakluk kepada amalan pengurusan dan operasi harian (Yao et al. 2009). Oleh itu, makalah ini bertujuan untuk mengkaji operasi sistem penyejukan dan penyamanan udara di masjid bagi melihat kesan strategi operasi terhadap suhu dan tenaga elektrik serta penerimaan tahap keselesaan terma dalaman yang optimum dalam kalangan jemaah.

## METODOLOGI

Kajian tahap keselesaan terma dalaman bangunan masjid Negeri Pulau Pinang dilakukan dengan mengukur iklim persekitaran secara *in-situ* dan secara serentak dengan soal selidik terma rasa jemaah. Kaedah ini berupaya membandingkan jurang antara suhu bilik selesa dan terma rasa jemaah semasa sistem penyejukan dan penyamanan udara beroperasi. Kaedah ini adalah amalan asas dalam kajian keselesaan terma dalaman bangunan mengikut kaedah kajian terdahulu (Hussin et al. 2015). Masjid Negeri Pulau Pinang dipilih sebagai model kajian kes selepas disaring mengikut informasi seperti berikut:

- a. Mempunyai kapasiti sistem penyejukan dan penyamanan udara yang terbesar
- b. Menggunakan kuasa masukan tiga fasa, 415V dan 50 Hz.
- c. Operasi harian melebihi enam jam sehari secara berterusan.
- d. Penggunaan tenaga tahunan tertinggi mengikut laporan Jabatan Agama Islam Negeri Pulau Pinang.

### 1. Model bangunan masjid

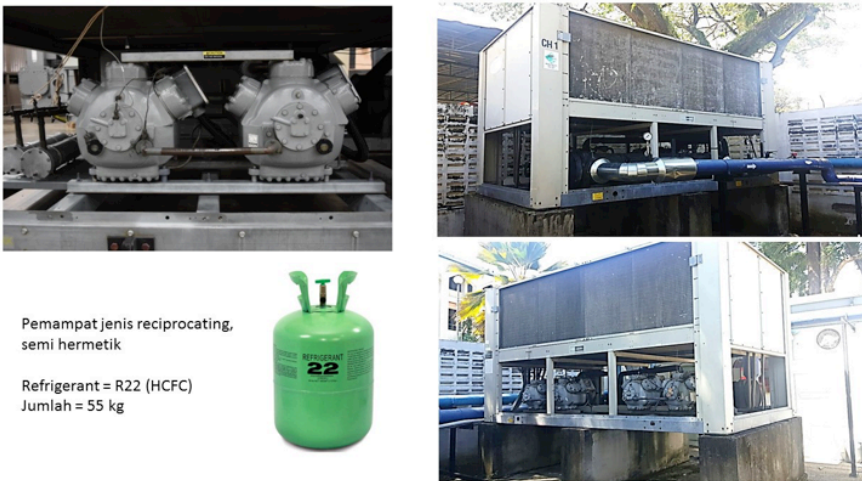
Masjid Negeri Pulau Pinang adalah sebuah masjid yang diletakkan dibawah pengurusan Jabatan Agama Islam Negeri Pulau Pinang. Ia dibina dan dibuka kepada umum pada



RAJAH 2 Bangunan Masjid Negeri Pulau Pinang

tahun 1981. Masjid ini mempunyai rekabentuk yang unik iaitu berbentuk bulatan, dan mempunyai kubah dengan isipadu bangunan sebanyak 36, 775 m<sup>3</sup>. Masjid ini dapat menampung sekitar 5000 orang Jemaah khususnya pada hari Jumaat (Rajah 2).

Masjid Negeri Pulau Pinang menggunakan teknologi penyejukan dan penyamanan udara jenis dingin udara air yang dipasang pada tahun 2003 (Rajah 3). Udara sejuk diagihkan melalui 5 unit pengagihan udara dan 4 sistem sesalur (atas, depan, sisi dan bawah) yang dipasang bersama peresap pengagih udara bekal yang mengelilingi ruangan masjid berbentuk bulatan.



RAJAH 3 Jenis Penyejukan Dan Penyamanan Udara di Masjid Negeri Pulau Pinang

## 2. Alat pengukuran dan tempoh kajian

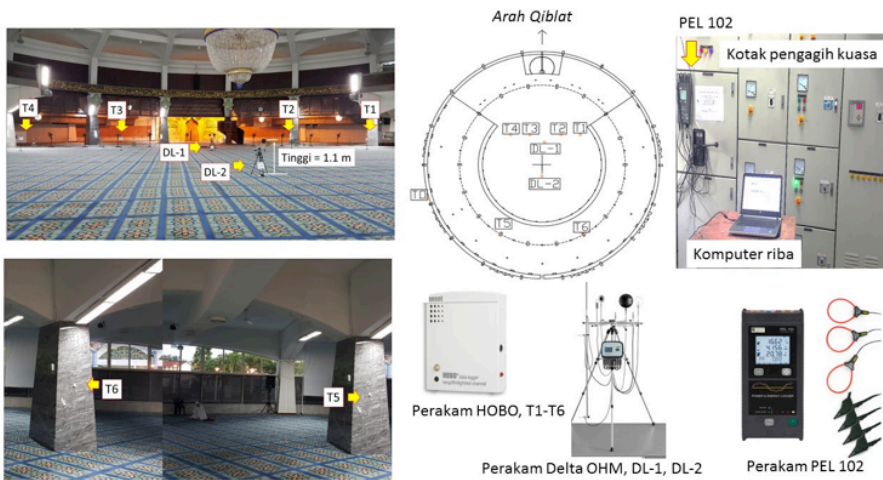
Kajian dijalankan antara bulan Ogos dan September 2018 menggunakan peralatan instrumentasi seperti dalam Jadual 1 yang mengandungi alat pengukur iklim dalaman (merekodkan suhu, kelajuan angin dan kelembapan relatif) dan alat pengukur tenaga elektrik (merekodkan voltan and arus). Alat pengukur iklim dalaman diletakkan di dalam dewan solat manakala alat pengukur tenaga elektrik diletakkan di bahagian kotak panel pengagih kuasa elektrik 3 fasa. Rajah 4 menunjukkan kedudukan alat pengukuran dan lokasi pengukuran dalam masjid. Alat pengukur iklim dalaman diletakkan pada ketinggian 1.1 m daripada lantai kerana merujuk kepada situasi yang sesuai untuk Jemaah bagi aktiviti solat (Hussin et al. 2018; Hussin et al. 2015). Kedua-dua alat pengukur iklim dalaman dan tenaga elektrik berupaya merekodkan parameter dalam jadual 1 secara automatik pada selang masa setiap 5 minit dan disimpan dalam



alat perakam masing-masing. Data iklim dalaman di terjemahkan kepada indeks ramalan kesejahteraan terma (PMV) mengikut model matematik seperti dalam ISO 7730 (2005).

JADUAL 1 Alat Pengukuran dalam Kajian Kes

Jenis alat	Parameter	Sym	Julat	Ketepatan
Delta OHM HD 32.3 data logger & HOBO data logger	Sensor suhu	Ta	-40...100°C	± 0.04%
	Sensor kelembapan udara	RH	0...100 %	± 1.5%
	Sensor kelajuan udara	Va	0..5 m/s	±0.3 m/s
PEL 102 data logger	Sensor voltan	V	0...800V	±2.5%
	Sensor arus	A	0...1200A	±1%



RAJAH 4 Lokasi dan Kedudukan Alat Pengukuran di Masjid Negeri Pulau Pinang

### 3. Pembangunan Model Asas (MA) dan Model Pengoptimum (MPO)

Kajian menilai operasi sistem penyejukan dan penyamanan udara di masjid Negeri Pulau Pinang bagi melihat kesan strategi operasi terhadap suhu bilik dan tenaga elektrik serta penerimaan Jemaah adalah menggunakan data yang dibangunkan daripada Model Asas (MA) dan dibandingkan kepada Model Pengoptimum (MPO). Model MA adalah model yang merujuk kepada keadaan situasi amalan sedia ada operasi sistem penyejukan dan penyamanan udara oleh pengurusan masjid Negeri Pulau Pinang daripada aspek penyelarasan suhu bilik. Suhu bilik dilaras bagi Model MA ialah

$22\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Suhu bilik ini diperolehi daripada simulasi pengkomputeran CFD bangunan masjid Negeri Pulau Pinang berdasarkan suhu udara bekal sebenar yang diukur di bahagian peresap pengagih udara bekal. Suhu yang dilaras juga adalah merujuk suhu minimum bilik yang normal bagi bangunan berpenyamanan udara menurut ANSI/ASHRAE Standard-55 (2014). Manakala Model MPO pula adalah model optimum yang diujicuba sebagai strategi operasi baru melibatkan penggunaan suhu bilik yang dilaras kepada had minimum  $26\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , disuaipadankan daripada Hussin et al. (2015) dan hanya terpakai untuk bangunan masjid di Malaysia sahaja.

#### 4. Soal selidik terma rasa responden

Serentak dengan pengukuran pada Bahagian (b) d, soal selidik turut dijalankan pada setiap jam semasa sistem penyejukan dan penyamanan udara beroperasi. Ini adalah untuk padanan data antara corak iklim dalaman, profil penggunaan tenaga elektrik serta maklumbalas penerimaan jemaah terhadap iklim dalaman yang sedang dihadapi mengikut ketetapan masa yang sama. Borang soalselidik keselesaan terma dalaman dibangunkan dalam versi Bahasa Malaysia dan diedarkan kepada jemaah mengikut masa yang ditetapkan. Jemaah yang dipilih secara rawak perlu menandakan di dalam borang berkaitan terma rasa sebenar mereka (*Thermal Sensation Vote-TSV*) mengikut skala berikut: panas melampau (+3), panas (+2), sedikit panas (+1), normal (0), sedikit sejuk (-1), sejuk (-2) dan sejuk melampau (-3). Soalan dibangunkan dengan merujuk kepada ISO 7730 (2005).

#### 5. Analisis data

Data kesan strategi operasi terhadap suhu dan tenaga elektrik serta penerimaan suhu bilik selesa yang optimum di kalangan jemaah dianalisis mengikut parameter berikut;

- a. Corak purata suhu dalaman dikumpulkan dan diplot dalam graf perbandingan Model MA dan Model MPO mengikut kelompok zon depan (T1-T4), zon tengah (DL-, DL-2) dan zon belakang (T5-T6).
- b. Indeks PMV (*Predicted Mean Vote-PMV*) digunakan sebagai penanda aras tahap keselesaan jemaah dan kawalan terbaik adalah pada had undian 90% ( $\pm 0.5$ ).
- c. Soal selidik terma rasa TSV diplot dalam graf perbandingan Model MA dan Model MPO menggunakan perisian SPSS 18.0 dan kawalan terbaik adalah pada had undian 90% ( $\pm 0.5$ ).
- d. Corak purata tenaga elektrik harian dibandingkan kepada purata suhu dalaman bagi setiap model.

- e. Perbandingan keseluruhan keselesaan terma dalaman Model MA dan Model MPO daripada aspek indeks PMV dan TSV serta peratusan penjimatan tenaga yang diperolehi.

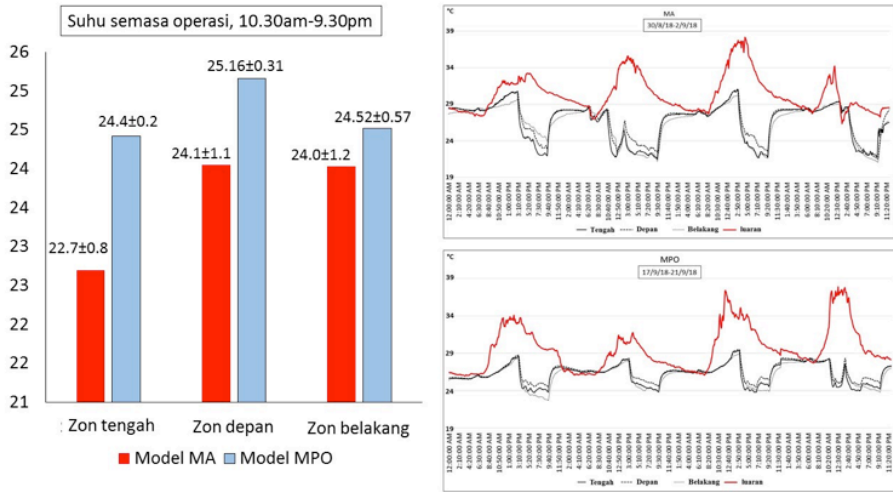
## HASIL DAN PERBINCANGAN

Hasil keputusan iklim dalaman keseluruhan Model MA dan Model MPO ditunjukkan dalam Jadual 2. Adalah didapati bahawa purata iklim dalaman keseluruhan Model MA yang merangkumi suhu bilik, suhu operatif, kelembapan relatif, halaju udara dan Indeks PMV adalah masing-masing 23.25°C, 24.12°C, 56.96%, 0.63 m/s dan -0.77. Keadaan iklim Model MA menunjukkan bahawa keselesaan terma dalaman adalah sejuk berbanding Model MPO dimana purata suhu bilik, suhu operatif, kelembapan relatif, halaju udara dan Indeks PMV berada pada situasi normal iaitu masing-masing 25.34°C, 25.59°C, 61.74%, 0.61 m/s dan -0.21. Suhu dalaman serendah 21.6°C diperolehi pada Model MA kerana disebabkan oleh pelarasan suhu bilik yang rendah iaitu 22±0.5°C. Perbezaan yang ketara ditunjukkan pada Model MPO dimana suhu dalaman minimum sentiasa melebihi 24.5°C kerana suhu bilik dilaraskan tinggi iaitu menggunakan nilai 26±0.5°C.

JADUAL 2 Iklim Dalaman Semasa Sistem Penyejukan dan Penyamanan Udara Beroperasi

Keselesaan terma	Model MA				Model MPO			
	Purata	Min	Mak	Sisihan Piawai	Purata	Min	Mak	Sisihan Piawai
Suhu bilik	23.01	21.63	26.12	0.99	25.34	24.48	27.25	0.71
Suhu operatif	24.12	22.35	26.95	1.04	25.59	24.70	27.02	0.57
Kelembapan relatif	57.03	45.86	65.73	4.08	61.74	57.40	68.23	2.82
Halaju udara	0.63	0.07	0.94	0.16	0.61	0.15	0.87	0.13
Indeks PMV	-0.77	-1.40	0.42	0.38	-0.21	-0.59	0.45	0.25

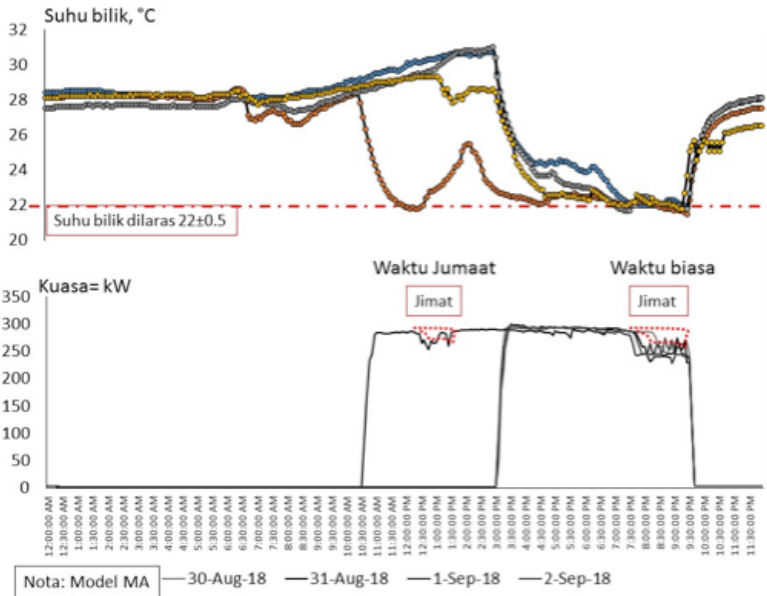
Seterusnya, Rajah 5 menunjukkan purata suhu bilik yang dihasilkan di zon tengah, zon depan dan zon belakang. Adalah didapati bahawa purata corak suhu bilik bagi zon tengah lebih sejuk berbanding zon depan dan zon belakang bagi Model MA iaitu dengan perbezaan hampir 1.4°C. Manakala selepas berlaku pelarasan suhu pada Model MPO, ketiga-tiga zon adalah hampir sekata dengan perbezaan kurang daripada 0.76°C. Ini menunjukkan kesan pelarasan Model MPO berjaya dilakukan untuk mengagihkan udara.



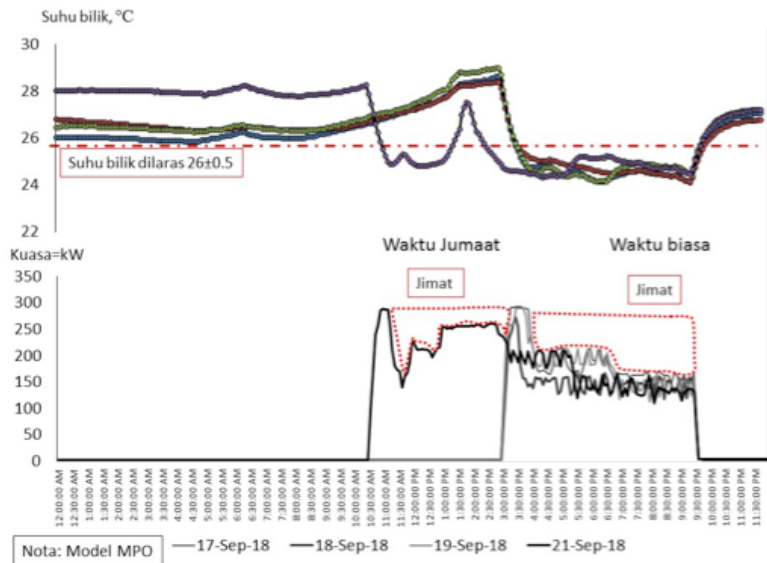
RAJAH 5 Corak Suhu Bilik Pada Setiap Zon

Rajah 6 menunjukkan penggunaan tenaga elektrik harian yang dijana daripada sistem penyejukan dan penyamanan udara di masjid Negeri Pulau Pinang bagi kedua-dua Model MA dan Model MPO. Sistem penyejukan dan penyamanan udara berkolerasi kepada suhu bilik yang dilaras oleh pihak pengurusan masjid. Hasil keputusan mendapati bahawa Model MPO berjaya mendapat penjimatan daripada aspek penggunaan tenaga elektrik. Suhu bilik Model MPO turun sedikit rendah daripada had yang dilaras tetapi berjaya dikekalkan pada purata antara 24.5~27.3°C. Hal ini adalah normal kerana masjid Negeri Pulau Pinang mempunyai saiz dan isipadu ruangan penyejukan yang besar menyebabkan proses penyejukan lambat. Penggunaan 5 unit pengagihan udara yang bekerja untuk membekalkan pengudaraan kepada ruangan penyejukan perlu mengambil masa untuk melengkapkan proses penyejukan tersebut. Dengan perbezaan suhu bilik minimum yang dicapai iaitu sebanyak 2.8K, hasil kajian membuktikan bahawa penjimatan tenaga elektrik berjaya dicapai dan ditunjukkan melalui graf dalam Rajah 7. Ini membuktikan bahawa menggunakan suhu bilik yang rendah dalam bangunan masjid seperti model MA adalah punca kenaikan penggunaan tenaga elektrik disamping berlaku penolakan oleh jemaah.

Bagi menilai kos penggunaan tenaga elektrik sebenar, data penggunaan tenaga setahun bagi bangunan masjid Negeri Pulau Pinang dikumpulkan bermula Jan-Dis 2016. Data ini diperolehi daripada Tenaga Nasional Berhad (TNB). Hasil keputusan mendapati jumlah purata sebenar penggunaan tenaga elektrik bulanan untuk penyejukan khususnya untuk operasi sistem penyejukan dan penyamanan udara sahaja ialah adalah sebanyak 50, 023 kWhr/bulan. Oleh itu data ini dijadikan sebagai rujukan untuk membangunkan Model MA. Hasil keputusan penggunaan tenaga elektrik bagi



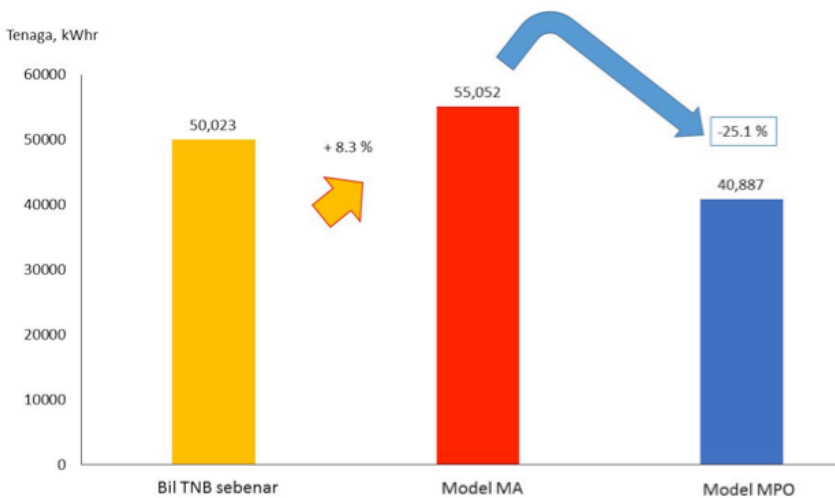
(a) Model MPO



(b) Model MA

RAJAH 6 Penggunaan Tenaga Elektrik Harian dan Suhu Bilik bagi Model MA dan Model MPO

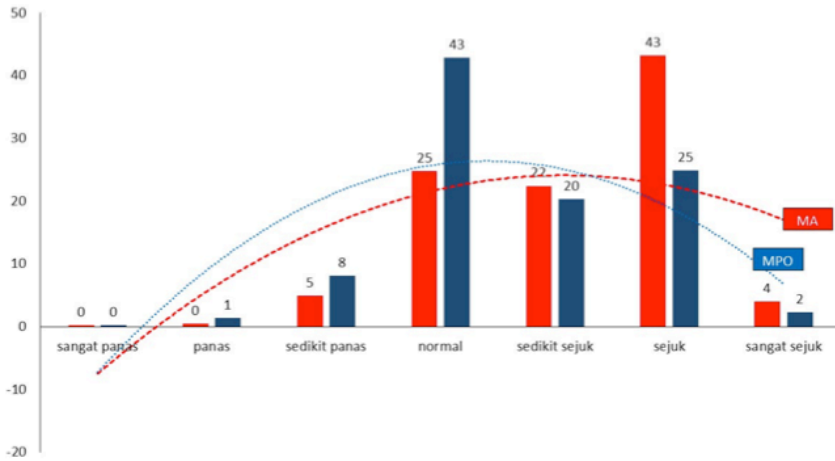
Model MA yang diukur semasa sistem penyejukan dan penyamanan udara beroperasi adalah sebanyak 55, 052 kWhr. Walau bagaimanapun, terdapat sedikit perbezaan sebanyak 8% kenaikan daripada purata bulanan bil asal TNB tahun 2016, Model MA masih boleh digunakan sebagai model kajian untuk perbandingan kepada Model MPO. Hal ini adalah berdasarkan ralat yang diterima adalah kurang daripada 20% seperti digariskan dalam Piawaian ANSI/ASHRAE (ANSI/ASHRAE Standard, 2013). Perbandingan hasil keputusan menunjukkan terdapat perbezaan bererti bagi Model MPO dengan penurunan tenaga sebanyak 25% berjaya dicapai seperti dalam Rajah 7. Sistem penyejukan dan penyamanan udara berjaya mengekalkan suhu bilik model MPO antara 24.5~27.3°C. Kajian simulasi terdahulu mendapati bahawa pengoperasian dengan suhu bilik antara 24-28 °C boleh berpotensi menjimatkan tenaga antara 35-45% tetapi tiada data mengenai maklumbalas keselesaan terma Jemaah (Hoyt et al. 2009). Tanpa maklum balas keselesaan terma daripada jemaah, adalah sukar untuk memastikan keseimbangan yang diperolehi dalam menilai tahap keselesaan terma jemaah dan penurunan tenaga elektrik.



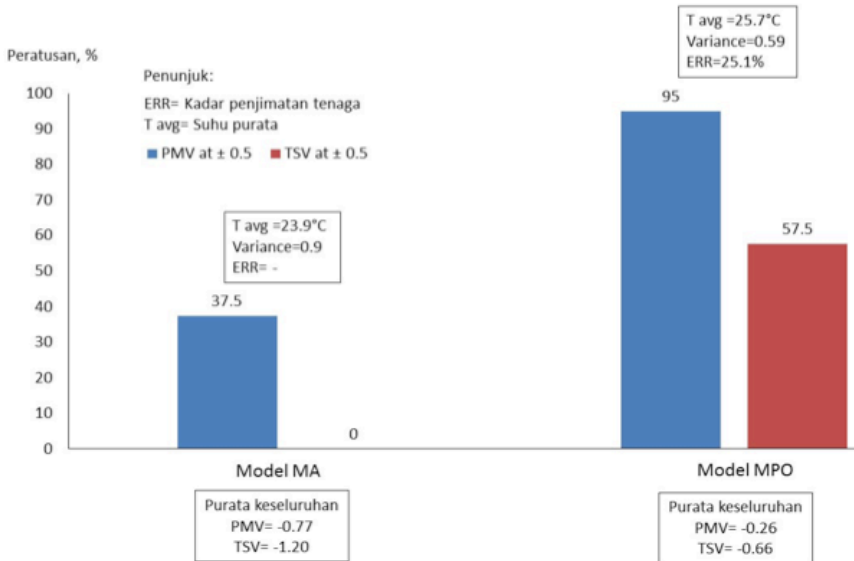
RAJAH 7 Tenaga Elektrik Bulanan Model MA dan Model MPO

Kajian soal selidik terma rasa responden (TSV) telah melibatkan seramai 812 orang jemaah yang dipilih secara rawak antara 10.30 a.m hingga 9.30 p.m. Rajah 8 menunjukkan perbandingan maklum balas terma rasa jemaah bagi Model MA dan Model MPO. Hasil keputusan undian terma rasa jemaah semasa berada dalam suasana persekitaran Model MA menunjukkan bahawa jemaah berada dalam situasi sejuk. Manakala undian terma rasa Jemaah semasa berada dalam suasana persekitaran Model MPO menunjukkan bahawa jemaah berasa lebih normal dengan persekitarannya. Keadaan ini menunjukkan bahawa suhu bilik memainkan peranan

dalam keselesaan manusia. Hal ini bertepatan dengan laporan oleh Zulkifli (1999) yang menerangkan bahawa keselesaan penghuni bangunan di Malaysia dipengaruhi oleh faktor utama seperti suhu, pendengaran, pencahayaan dan kualiti udara. Beliau menyatakan keselesaan setiap manusia adalah berbeza-beza mengikut tanggapan dan persepsi masing-masing. Antara penyumbang selainnya adalah seperti tempoh masa yang diperuntukkan di dalam bangunan.



RAJAH 8 Tahap Penerimaan Pengguna bagi Model MA dan Model MPO



RAJAH 9 Peratusan Tahap Penerimaan Jemaah dan Penjimatan Tenaga Elektrik Bulanan

Rajah 9 menunjukkan analisa peratusan tahap penerimaan jemaah pada had keyakinan  $\pm 0.5$  (90%) seperti yang dicadangkan oleh Piawaian ASHRAE dengan membandingkan kepada penjimatan tenaga elektrik bulanan serta purata suhu bilik yang diperolehi. Model MPO telah menunjukkan perbezaan yang amat ketara iaitu nilai indeks ramalan PMV menganggarkan hampir 95% jemaah akan berasa selesa dengan iklim dalaman tersebut pada had keyakinan yang dicadangkan iaitu  $\pm 0.5$ . Hasil keputusan soal selidik jemaah turut menyokong fakta ini iaitu lebih daripada separuh telah menyatakan mereka berasa selesa dengan iklim dalaman dengan suhu bilik antara 24.5~27.3°C berbanding Model MA disebabkan suhu bilik yang terlalu rendah.

## KESIMPULAN

Teknologi dan sains amat penting untuk Islam tanpa mengenyepikan aspek kelestarian. Kajian kes membuktikan bahawa dengan mengamalkan strategi pengurusan berhemah, pengudaraan daripada teknologi penyejukan dan penyamanan udara dapat memberikan penjimatan tenaga elektrik. Strategi pelarasan suhu bilik pada  $26\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  dapat menjimatkan penggunaan tenaga elektrik sebanyak 25% tanpa mengabaikan tahap keselesaan terma warga jemaah. Hasil penemuan berjaya memberikan pengetahuan baharu untuk pengurusan masjid Negeri Pulau Pinang Malaysia dalam mengendalikan operasi sistem penyejukan dan penyamanan udara tanpa mengabaikan tahap keselesaan jemaah. Suhu bilik yang optimum dapat dibekalkan dan penggunaan tenaga elektrik hanya dengan mengikut keperluan sahaja. Ini selaras dengan anjuran Quran dan Sunnah untuk masjid lestari sebagai model ikutan bagi bangunan-bangunan lain.

## PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada kumpulan penyelidik, pengurusan masjid Negeri Pulau Pinang di bawah Jabatan Agama Islam Negeri Pulau Pinang serta Jabatan Kerja Raya Cawangan Kejuruteraan Mekanikal Pulau Pinang di atas kebenaran dan sokongan dalam menjalankan kajian ini. Penghargaan turut diberikan kepada pengurusan Bahagian Teknologi Penyejukan dan Penyamanan Udara ILP Kepala Batas di atas bantuan peralatan dan sokongan teknikal.

## RUJUKAN

- Abdus Salam. 1995. Islam and Science-Concordance of conflict? *Review of Religions* 90 (3): 26-30 Mac.
- ANSI/ASHRAE Standard 55. 2013. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, Georgia: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.*



- Anon. 2019. *Al-Masjid Al-Nabawi-Prophet's Mosque*. <http://theq4u.blogspot.com/2013/07/al-masjid-al-nabawi-prophets-mosque.html> [17 Mei 2019].
- Budaiwi, I. & Abdou., A. 2013. HVAC system operational strategies for reduced energy consumption in buildings with intermittent occupancy: *The case of mosques, Energy Conversion and Management* 73: 37–50.
- Hoyt, T., Lee, K.H., Zhang, H., Arens, E. & Webster, T. 2009. Energy savings from extended air temperature set points and reductions in room air mixing *International Conference on Environmental Ergonomics*.
- Hussin, A., Salleh, E., Chan, H. Y. & Mat., S. 2014. Thermal comfort conditions during daily prayer times in an air conditioned mosque in Malaysia, *Proceeding of 8<sup>th</sup> Windsor Conference: Counting the cost of comfort in a changing world*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 302-323.
- Hussin, A., Salleh, E., Chan, H.Y. & Mat., S. 2015. The reliability of Predicted Mean Vote model predictions in an air-conditioned mosque during daily prayer times in Malaysia. *Architectural Science Review* 58(1): 67-76.
- Hussin, A., Lim, C.H., Salleh, E., Mat, S. Abdullah, A.A. 2018. Indoor thermal performance of a retrofitted air-conditioned mosque: Case study for Penang state mosque. *Journal of Engineering SI* 1(3): 37-45.
- Hussin, A., Lim, C.H. & Salleh. 2019. Air conditioning energy profile and intensity index for retrofitted mosque building: A case study in Malaysia. *Alam Cipta, International Journal on Sustainable Tropical Design Research and Practice* 12 (Special issue 1): 17-27.
- ISO 7730. 2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Choudhury, I.A. 2002. Potential electricity savings by implementing energy labels for room air conditioner in Malaysia. *Energy Convers Manage* 43: 2225–2233.
- Mohd Sahabuddin, M. F. 2016. *Dilema rekabentuk Masjid di Malaysia: Hilangnya konsep kesederhanaan dan kelestarian Majalah Sains*. <https://www.majalahsains.com/dilema-rekabentuk-masjid-di-malaysia> [19 Mei 2019].
- Mohd Sahabuddin, M. F. & Gonzalez-Longo, C. 2015. Traditional values and their adaptation in social housing design: Towards a new typology and establishment of ‘Air House’ standard in Malaysia. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR* (9): 31-44.

- Mohd Yusof Hj Othman. 2017. Sains dan teknologi dalam peradaban Islam. Dlm. *Peradaban Islam*, disunting oleh Jawiah Dakir, Fariza Md Sham & Mujahid Abu Bakar. Bangi: Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Mohd Yusof Hj Othman. 2014. *Pengenalan Sains Tauhidik*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Mohd Zariat Abdul Rani. 2019. *Gerakan Reformasi Gereja di Eropah dan Kesannya Terhadap Pegangan Seksualiti Masyarakat Barat*. <https://ejournal.um.edu.my/index.php/JUD/article/.../4023/1890> [16 Mei 2019].
- Muhamad Faizal, A. & Firdaus, M. 2018. Pandangan imam dan pentadbir masjid tentang kehadiran masyarakat ke masjid. *Jurnal Hadhari* 10 (2): 205-223.
- Renata, H. & Hasan-Uddin K. 1997. *The Mosque and the Modern World*. London: Thames and Hudson Ltd.
- Saidur, R. 2009. Energy consumption, energy savings, and emission analysis in Malaysian office buildings. *Energy Policy* 37: 4104-4113.
- Yao, R., Li, B. & Liu, J. 2009. A theoretical adaptive model of thermal comfort adaptive predicted mean vote (aPMV). *Building and Environment* 44: 2089-96.
- Zulkifli, H. 1999. *Reka Bentuk Bangunan dalam Iklim Panas dan Lembab di Malaysia*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.