

## **Kajian Sistem Penyejukan Radiasi Secara Prototaip Bangunan**

Nurul Syahirah Mohd Nor  
Kolej Komuniti Pasir Salak  
asrulkkhl@gmail.com

Muhamad Asrul Affendi Mat Nor  
Kolej Komuniti Pasir Salak  
nurulsyahirahmohdnor@gmail.com

Zulkurnain Hassan  
Kolej Komuniti Kota Marudu  
zulkurnainhassan@gmail.com

### **Abstrak**

Generally, Malaysia is located in a hot and humid zone. Conventional ventilation systems with mechanical ventilation are used to obtain cool indoor air temperature. However, in special areas such as microscope transmission labs and hospitals, static airflow cooling is difficult to apply due to the large space required. Radiant cooling systems are therefore adapted to replace modern air-conditioning systems. The systems typically utilize a hydraulic system, which is to cool the air by circulating cold water in the pipes through floor, ceiling and wall. When the surface temperature of the radiation is cooler than the ambient temperature, the heat from that environment is absorbed into the water stream and indirectly cools the space. In this situation, the basic concept of heat transfer is applied where the heat moves from hot surface to cold surface. In this study, three stages of the methodology will be conducted. The first stage is to design a building prototype. Later from this design, a fabrication process will be carried out to complete the prototype building according to the specifications given. The final stage involves experimental work, in which all the measurements needed will be taken. Thus, the water temperature at the inlet flow and the wall surface temperature are recorded. As the temperature of the inlet flow decreases, the surface temperature decreases as well as cooling load requirements has been achieved. Temperature differences at the end of the study indicate that cooling in that specific area has taken place.

**Keywords:** Air-conditioning, radiation, temperature

### **Abstrak**

Umumnya Malaysia terletak dalam iklim zon panas dan lembap. Sistem penghawa dingin konvensional dengan pengudaraan mekanikal digunakan bagi mendapatkan suhu udara dalaman yang sejuk. Walaubagaimanapun di tempat khas seperti makmal penghantaran elektron mikroskop dan hospital, penyejukan udara secara aliran udara statik tidak mudah untuk diaplikasikan disebabkan ruang yang luas. Oleh itu sistem penyejukan secara radiasi diadaptasi dalam sistem penghawa dingin yang moden. Sistem penyejukan radiasi biasanya menggunakan sistem hidronik, iaitu dengan menyejukkan udara menggunakan peredaran air sejuk di dalam paip. Apabila suhu permukaan radiasi lebih sejuk dari suhu persekitaran, haba dari persekitaran tersebut diserap ke aliran air dan secara tidak langsung menyejukkan ruang tersebut. Dalam situasi ini, konsep asas pemindahan haba diaplikasikan di mana haba bergerak dari suhu yang panas kepada suhu yang lebih sejuk. Dalam kajian ini, tiga peringkat metodologi dijalankan. Peringkat yang pertama adalah mereka bentuk prototaip bangunan. Kemudian dari rekabentuk ini, proses fabrikasi dijalankan untuk membina bangunan prototaip mengikut spesifikasi yang telah diberikan. Peringkat terakhir adalah melibatkan kerja eksperimen, di mana semua proses

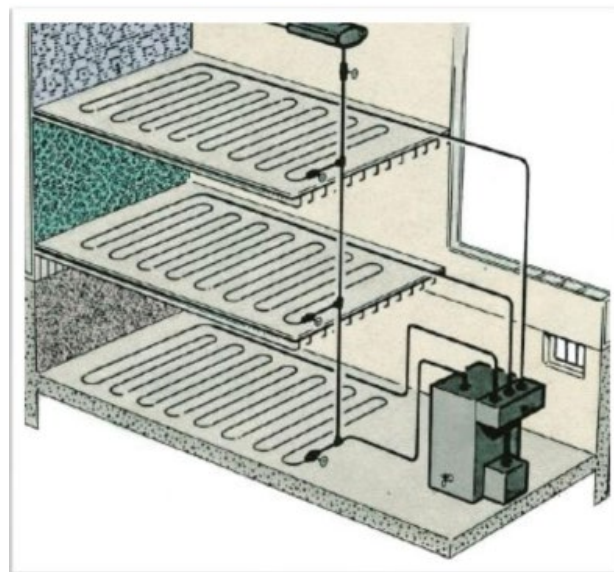
pengukuran diambil dalam kaedah ini. Suhu air di bahagian masuk dan suhu permukaan dinding dicatatkan. Apabila suhu di salur masuk adalah berkurangan, suhu pada permukaan menjadi berkurangan juga dan keperluan beban penyejukan boleh dicapai. Perbezaan suhu di akhir kajian menunjukkan penyejukan telah tercapai.

**Kata kunci:** Penghawa dingin, radiasi, haba

### **1.0 Pengenalan**

Dalam sistem radiasi, penyejukan bagi suatu ruang berlaku di permukaan lantai mahupun dinding di mana haba panas diserap oleh aliran air yang bersuhu rendah. Apabila haba panas diserap keluar, secara tidak langsung ruang tersebut disejukkan. Berbanding dengan sistem penyamanan udara mekanikal, sistem radiasi menyerap haba menggunakan air dan bukannya udara. Air mempunyai kekonduksian dan kapasiti haba yang lebih tinggi daripada udara, di mana air boleh menyerap haba lebih cepat dan pada suhu yang lebih mantap (membenarkan lebih banyak operasi sumber haba yang cekap), dapat menyimpan lebih banyak tenaga haba bagi setiap jisim unit, dan melepaskan haba dengan lebih mudah. Kekonduksian haba dan ketumpatan air yang tinggi digabungkan bagi menjadikan pekali pemindahan haba berada di skala yang tinggi, dan dengan demikian, pemindahan haba ke suatu tempat dengan secara perolakan dari bendalir ke paip dapat dilakukan.

Terdapat tiga bahagian utama dalam sistem hidronik radiasi; iaitu ruang yang mempunyai pengudaraan semulajadi (bilik), lantai sejuk dan simen dinding, dan penyejuk mini yang menjalankan peredaran sistem air. Prototaip bangunan direka bentuk untuk menjadi lajur dan mempunyai dua tingkat ruang. Setiap ruangan mempunyai dua kawasan terbuka untuk meletakkan motor kipas mini untuk tujuan pengudaraan di dalam ruang. Lantai sejuk dan simen dinding diperbuat daripada tiub tembaga yang telah dibungkus mengikut baris. Manakala bahagian penyejuk mini adalah kombinasi kedap udara bekas untuk penyimpanan air sejuk dan pam air di dalam bekas untuk mengedarkan air sejuk ke ruang melalui tiub tembaga sebagai sistem hidronik.



**Rajah 1:** Imej panel penyejuk radiasi di bangunan

## **2.0 Latar belakang penyelidikan**

Penyelidikan mengenai sistem penyejukan dan pemanasan secara radiasi selama 50 tahun terakhir telah dirujuk berdasarkan (Mustakallio, Bolashikov, Kostov, Melikov & Kosonen 2016). Menurut kajian tersebut, sistem penyejukan radiasi merujuk kepada suhu terkawal pada permukaan suatu ruang. Dengan menggunakan tiga jenis pemindahan haba iaitu konduksi, perolakan dan radiasi, haba dari permukaan akan bertukar dengan persekitaran sekitar. Radiasi hidronik untuk sistem penyejukan adalah berdasarkan sistem air. Ia terdiri daripada tiga jenis panel di dalam bahagian bangunan terbenam iaitu lantai, siling dan dinding. Satu lagi jenis yang ada dalam sistem radiasi ialah berasaskan udara dan sistem elektrik, walaubagaimanapun sistem elektrik adalah untuk pemanasan.

Tujuan utama sistem radiasi yang akan digunakan adalah untuk memaksimumkan keselesaan suhu (thermal comfort) kepada manusia, bergantung kepada empat parameter iaitu suhu udara, kelembapan relatif, pergerakan udara, dan suhu permukaan. Dengan proses pemindahan haba, haba akan bergerak seperti sinaran atau gelombang dari permukaan suhu tinggi ke permukaan suhu sejuk.

Sistem radiasi boleh menjimatkan penggunaan elektrik yang besar kerana tidak menggunakan pemampat tenaga yang tinggi dan penyejukan yang berlebihan yang tidak memenuhi terma. Selain itu, bahan penyejuk VCCS mengandungi bahan kimia yang boleh merosakkan lapisan ozon dan risiko pemanasan global dunia tidak digunakan sama sekali. Malah dalam aplikasi HVAC yang lebih tipikal, sistem radiasi lebih efektif daripada penyejukan udara yang konvensional.

## **3.0 Pernyataan masalah**

Penggunaan tenaga untuk sistem penyaman udara konvensional adalah sangat tinggi berbanding dengan pemanasan radiasi dan sistem penyejukan radiasi. Terdapat banyak komponen yang diperlukan pada sistem untuk mencapai suhu pemanasan atau penyejukan yang ideal di suatu ruang. Komponen yang paling banyak menghabiskan penggunaan tenaga yang tinggi dalam sistem penyaman udara konvensional adalah pemampat. Oleh itu, penggunaan tenaga ini dapat dijitamkan dengan menggunakan sistem radiasi yang hanya menggunakan pam sebagai komponen untuk mengedarkan air sejuk di dalam sistem tiub tembaga.

Selain daripada itu, masalah bunyi yang bising dari penyaman udara konvensional juga merupakan isu utama. Bunyi tidak dapat dihilangkan dari sistem walaupun penebat telah disediakan di sekitar pemampat. Dalam sistem penyaman udara konvensional, bahan penyejuk digunakan sebagai medium penyejukan udara. Bahan penyejuk ini dapat menyebabkan lapisan ozon berkurangan dan mengakibatkan pemanasan global dunia berdasarkan T. Moore, F. Bauman, and C. Huizenga (2006). Ianya juga berbahaya untuk kesihatan manusia di mana jika kebocoran gas berlaku di kawasan terkurung. Cabaran bagi projek ini adalah bagaimana untuk merancang sistem alternatif yang dapat menggantikan sistem penyejukan konvensional dan mengatasi penggunaan tenaga yang berlebihan.

#### 4.0 Objektif kajian

Objektif kajian ini adalah:

- i. Untuk meningkatkan keselesaan termal alam sekitar melalui sistem penyejukan radiasi hidronik
- ii. Untuk mengukur suhu bilik pada zon yang mempunyai penghuni, lantai bilik, dinding dan suhu air masuk dan keluar
- iii. Untuk menentukan keberkesanan sistem reka bentuk penyejukan radiasi hidronik dengan merujuk nilai perubahan suhu air masuk dan suhu air keluar

#### 5.0 Skop penyelidikan

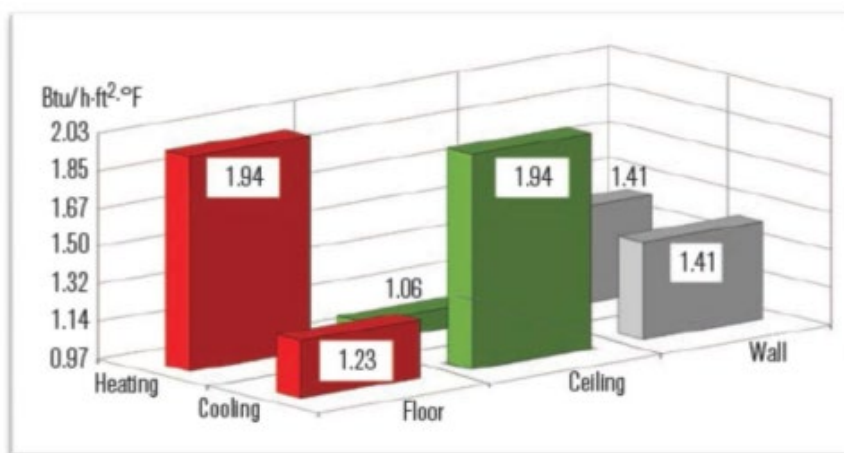
Kajian ini adalah terhad kepada ketetapan yang berikut:

- i. Pemilihan saiz untuk ruang atau bangunan prototaip ialah 10 meter (Panjang), 7.6 meter (Lebar), dan 3.85 meter (Ketinggian) menurut (Chiang et al. 2010) dari ujian bangunan sebenar
- ii. Prototaip bangunan dibina dengan nisbah skala 1: 0.07 iaitu 2.3 kaki (Panjang), 1.8 kaki (Lebar), dan  $(0.9 \times 2)$  kaki (Ketinggian)
- iii. Mengaplikasikan dua jenis sistem bangunan Thermally Activated Building System (TABS) di dinding dan lantai bangunan
- iv. Kelajuan kipas untuk pengudaraan adalah malar dengan menggunakan kipas CPU
- v. Tiub kuprum dengan dimensi 1/4 diameter dan dengan corak serpentin
- vi. Penyejuk mini, di mana suhu air masuk adalah 16, 18, 20, 22, dan 24 °C. Kadar aliran air adalah malar.

#### 6.0 Kajian literatur

##### 6.1 Sistem radiasi

Sistem radiasi boleh diterangkan apabila ianya mempunyai sekurang-kurangnya 50% haba pemindahan berlaku melalui radiasi. Rajah 2 menunjukkan jumlah pemindahan haba pekali di antara permukaan yang dipanaskan dengan sejuk di bilik.



**Rajah 2:** Pekali pemindahan haba di antara permukaan dan ruang yang dipanaskan / sejuk

Dapatan hasil daripada semua kes, pemindahan haba radiasi adalah  $5.5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  ( $0.97 \text{ Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}$ ). Perpindahan haba perolakan kemudian turun naik antara  $0.5$  dan  $5.5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$  ( $0.09$  dan  $0.97 \text{ Btu} / \text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}$ ), bergantung kepada mod pemanasan atau penyejukan dan jenis permukaan. Data ini menunjukkan bahawa pemindahan haba radiasi mengalami penurunan dan kenaikan antara 50% dan 90% dari jumlah pemindahan haba berdasarkan (Kim & Olesen 2008). Suhu udara bilik tidak terjejas oleh pemindahan haba radiasi secara langsung. Gelombang panjang radiasi akan memanaskan atau menyejukkan permukaan sekeliling, yang kemudian secara tidak langsung memanaskan atau menyejukkan udara bilik. Sistem udara konvensional adalah berbeza daripada sistem radiasi dari segi proses pemindahan haba antara air dan bilik. Berasaskan reka bentuk sistem dan piawaian sedia ada dari negara yang berlainan, standard antarabangsa pada pemanasan radiasi dan sistem penyejukan telah dibangunkan dan telah diterbitkan pada tahun 2012. ISO 11855, Reka Bentuk Rekaan Alam Sekitar Bangunan, Dimensi, Pemasangan dan Pengawasan Pemanasan Radiah Terbenam dan Sistem penyejukan terdiri daripada enam bahagian:

- a. Definisi, simbol, dan kriteria keselesaan
- b. Penentuan kapasiti reka bentuk dan pemanasan dan penyejukan
- c. iii. Merancang dan dimensi
- d. iv. Dimensi dan pengiraan pemanasan dinamik dan kapasiti penyejukan
- e. v. sistem bangunan termal aktif
- f. vi. Pemasangan
- g. vii. Kawalan

Sistem penyejukan radiasi hidronik lebih praktikal daripada sistem penyaman udara konvensional kerana sistem penyejukan radiasi hidronik boleh menjimatkan banyak penggunaan tenaga kerana ianya tidak menggunakan pemampat untuk mengedarkan air sejuk, tetapi pam edaran digunakan sebaliknya (Olesen & Bjarne 2008). Kajian yang dijalankan menggunakan sistem bangunan termos aktif, sistem penyejukan radiasi hidronik menyerap haba yang lebih baik bagi keselesaan dengan penggunaan tenaga yang lebih rendah, ia adalah lebih kurang 20% jika dibandingkan dengan sistem VAV semua udara. Sementara itu, satu lagi kajian oleh Stetiu (2010), mengenai topik sistem penyejukan radiasi hidronik di bangunan komersial di beberapa lokasi di Amerika Syarikat, hasil yang diperolehi adalah sistem penyejukan radiasi hidronik boleh menjimatkan 30% daripada penggunaan tenaga.

## **7.0 Kajian literatur**

### **7.1 Proses reka bentuk**

- i. Pada peringkat ini, kebuk alam sekitar ini direka dengan dimensi 2.3 kaki (Panjang), 1.8 kaki (Lebar), dan  $(0.9 \times 2)$  kaki (Ketinggian). Ianya merupakan model untuk 2 tingkat bangunan dengan sistem pengudaraan di tingkat utama dan tingkat atas
- ii. Bahan untuk membina prototaip ini dengan menggunakan sepenuhnya simen

- iii. Bendalir untuk sistem hidronik adalah dengan menggunakan air dengan ais kiub



**Rajah 3:** Ruang alam sekitar atau prototaip bangunan

## **7.2 Fabrikasi model**

- i. Ruang alam sekitar bertindak sebagai prototaip bangunan. Jumlah dinding atau pelan adalah tujuh, dan telah dibina untuk satu bulan
- ii. Dimulakan dengan membina acuan untuk setiap pelan



**Rajah 4:** Langkah seterusnya ialah membuat paip hidron



**Rajah 5:** Proses pembengkokan dan pemotongan



**Rajah 6:** Lapisan akhir pelan

Semua proses diulang bagi membina pelan yang lain sehingga selesai sepenuhnya sebanyak 7 pelan. Untuk pemasangan setiap pelan, pendakap sudut keluli digunakan bagi menyambung setiap pelan dengan pelan lain. Langkah pertama dimulakan dengan lantai, dinding dipasang dan diteruskan dengan siling. Selepas semua pelan dipasang sepenuhnya, bahagian luar permukaan bangunan prototaip dikemaskan dengan plaster simen untuk memastikan sebarang lubang udara yang boleh memberikan data yang tidak tepat dalam analisis ini.



**Rajah 7:** Bangunan prototaip yang telah dipasang sepenuhnya

### **7.3 Kerja eksperimen**

- i. Dalam projek ini, tiga eksperimen utama dengan beberapa kes akan dijalankan iaitu mendapatkan suhu bilik dengan pengudaraan semulajadi, mendapatkan suhu bilik dengan

- pengudaraan kipas dan perbezaan suhu air masuk dan juga air keluar
- ii. Kaedah pengumpulan data dilakukan dengan peralatan *Grafhtec Midi Logger*
  - iii. Pengumpulan data suhu air masuk, suhu air keluar dan ruangan bilik
  - iv. Data eksperimen akan dianalisis untuk mencapai objektif projek

## 8.0 Hasil dan perbincangan

**Jadual 1:** Suhu purata apabila semua sumber pengudaraan ditutup

Number of Reading	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	34.9
2	35.3
3	35.3
4	35.4
5	35.2
Means (S.D)	35.2 ( $\pm 0.2$ )

Jadual 1 menunjukkan purata bacaan suhu apabila semua sumber pengudaraan ditutup. Terdapat 0.2 standard sisihan yang ditambah tolak dari data yang diambil. Ini bermakna purata bagi 5 data yang diambil adalah  $35.2^{\circ}\text{C}$ . Suhu pedalaman prototaip meningkat sehingga  $35.4^{\circ}\text{C}$ . Oleh yang demikian ini disebabkan oleh keadaan tertutup di mana habanya tidak dapat dikeluarkan kepada persekitaran luar. Seterusnya, jumlah haba di dalam bilik kawalan sangat tinggi dan mengakibatkan peningkatan haba yang terperangkap juga.

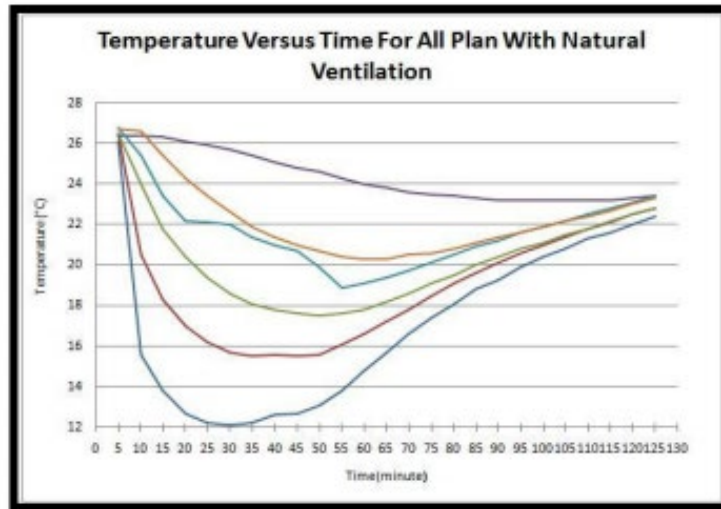
**Jadual 2:** Suhu purata apabila semua sumber pengudaraan dibuka

Number of Reading	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	29.5
2	28.9
3	29.4
4	29.6
5	29.1
Means (S.D)	29.3 ( $\pm 0.3$ )

Jadual 2 menunjukkan purata bacaan suhu apabila semua sumber pengudaraan dibuka. Terdapat 0.3 standard sisihan yang ditambah tolak dari data yang diambil. Ini bermakna purata bagi 5 data yang diambil ialah  $29.3^{\circ}\text{C}$ . Suhu pedalaman prototaip menurun hingga  $28.9^{\circ}\text{C}$ . Berkemungkinan disebabkan kepada keadaan yang dibuka sepenuhnya di

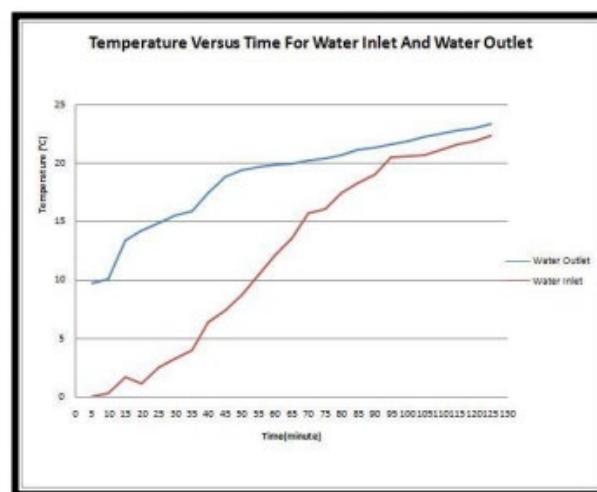


mana haba dikeluarkan ke persekitaran luar, dengan itu menurunkan haba panas di dalam bangunan tersebut.



**Rajah 8:** Suhu versus untuk semua pelan dengan semulajadi pengudaraan

Berdasarkan Rajah 8, 6 pelan prototaip bangunan yang mempunyai suhu pelbagai untuk menunjukkan kesannya apabila air sejuk dimasukkan ke dalam semua pelan. Air sejuk dimasukkan pada Pelan 1, Pelan 2, Pelan 3, Pelan 4, Pelan 5 dan seterusnya Pelan 6. Titik permulaan pada 5 minit, semua pelan mempunyai suhu yang sama pada purata  $26.0^{\circ}\text{C}$ . Pelan 1 mempunyai suhu yang terendah pada  $12.2^{\circ}\text{C}$  selepas 25 minit kerana air sejuk dari aliran mula menyejukkan udara di pelan ini dan mengalir keluar pada pelan lain. Dari rajah di atas, pelan 4 tidak mempunyai perbezaan suhu yang tinggi daripada pelan lain kerana pelan 4 terdapat aliran air masuk dan tidak mempunyai saluran air. Pelan ini berfungsi sebagai kedai tenaga (penyejukan) untuk mengekalkan suhu pada keadaan keselesaan terma yang paling tinggi. Selepas 2 jam berlalu, semua suhu pelan mencapai hampir suhu yang sama iaitu  $23.0^{\circ}\text{C}$ . Ini adalah kerana suhu di lantai pelan telah mencapai suhu keselesaan iaitu zon keselesaan.



**Rajah 9:** Suhu versus suhu untuk air masuk dan air keluar

Berdasarkan Rajah 9, suhu minimum air masuk adalah 0°C yang merupakan campuran antara air dan ais, manakala suhu minimum untuk saluran air adalah 9.7°C. Data ini menunjukkan bahawa perbezaan suhu antara aliran air masuk dan aliran air keluar untuk permulaan eksperimen adalah 9.7°C. Perubahan suhu air dari masa ke semasa sehingga 120 minit bagi aliran air masuk menjadi 21.9°C dan suhu aliran air keluar meningkat kepada 23.0°C. Semakin lama masa yang diambil, semakin kecil perbezaan suhu antara air masuk dan keluar. Perbezaan suhu yang semakin kecil adalah kerana air mencapai suhu yang stabil.

## 9.0 Kesimpulan

Berdasarkan pernyataan masalah, kesimpulannya pelaksanaan sistem penyejukan radiasi dalam bangunan di Malaysia dapat memberikan penjimatan yang lebih ekonomik dari segi penggunaan tenaga. Dengan penggunaan peralatan yang minima, tenaga yang digunakan dapat dikurangkan dalam pengendalian sistem dan kualiti keselesaan terma pengguna yang baik dapat dicapai. Pencemaran bunyi juga dapat dikurangkan kerana tiada penggunaan kipas di dalam bangunan bagi memaksa udara dingin ke sekitarnya. Semua matlamat telah dicapai melalui eksperimen ini.

## Rujukan

- W.-H. C. W.-H. Chiang, J.-S. H. J.-S. Huang, and Y.-H. H. Y.-H. Huang, "Effect of inlet water temperature and flow rate on cooling efficiency of a radiant ceiling system in Taiwan," *Energy Sustain. Dev. Issues Strateg. (ESD)*, 2010 Proc. Int. Conf., 2010.
- A. Beghi, L. Cecchinato, and M. Rampazzo, "Thermal and comfort control for radiant heating / cooling systems," pp. 258–263, 2011.
- P. Danca, A. Vartires, and A. Dogeanu, "An overview of current methods for thermal comfort assessment in vehicle cabin," *Energy Procedia*, vol. 85, no. November 2015, pp. 162–169, 2016.
- A. Engineers, "3. Definitions," pp. 3–6, 2010.
- K. W. Kim and B. W. Olesen, "Radiant heating and cooling systems," US Pat. 8,256,690, no. March, 2008.
- R. McDowall, *Fundamentals of HVAC systems*. Elsevier, 2007.
- P. Mustakallio, Z. Bolashikov, K. Kostov, A. Melikov, and R. Kosonen, "Thermal environment in simulated offices with convective and radiant cooling systems under cooling (summer) mode of operation," *Build. Environ.*, vol. 100, pp. 82–91, May 2016.
- B. W. Olesen and K. C. Parsons, "Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 537–548, Jul. 2002.

- K.-N. Rhee and K. W. Kim, "A 50 year review of basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment," *Build. Environ.*, vol. 6191, pp. 166–190, Apr. 2015.
- L. Su, N. Li, X. Zhang, Y. Sun, and J. Qian, "Heat transfer and cooling characteristics of concrete ceiling radiant cooling panel," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 84, pp. 170–179, Jun. 2015.
- A. Volkov, A. V. Sedov, and P. D. Chelyshkov, "Modelling the thermal comfort of internal building spaces in social buildings," *Procedia Eng.*, vol. 91, no. TFOCE, pp. 362–367, 2014.
- R. Forgiarini, N. Giraldo, and R. Lamberts, "A review of human thermal comfort in the built environment," *Energy Build.*, vol. 105, pp. 178–205, 2015.
- T. Moore, F. Bauman, and C. Huizenga, "Radiant cooling research scoping study," 2006.
- K. Weibin, Z. Min, L. Xing, M. Xiangzhao, and Z. Lianying, "Experimental investigation on a ceiling capillary radiant heating system," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 1380–1386, 2015.
- Q. Li, C. Chen, J. Lin, and G. Wang, "Experimental study on cooling characteristics" pp. 2167–2170, 2011.
- A. Dissertation and X. Gong, "Investigation of a radiantly heated and cooled office with an integrated desiccant ventilation unit investigation of a radiantly heated and cooled office with an integrated desiccant ventilation unit," no. August, 2007.
- M. N. Alban, "Literature study on radiant heating in a 62 thermally-comfortable indoor environment: Prepared by:," no. September 2010.
- J. D. Feng, "Radiant cooling design: performance prediction and modeling methods backgrounds: Air systems vs. Radiant systems 1. Is the cooling load the same for radiant systems as for air systems? 2. Can we use the same method to size radiant system as air system? 3. Which modeling tools can be used to assist design?," no. October, pp. 1–18, 2013.
- J. Johnsson, "Radiant floor cooling systems A measurement and simulation study," 2012.