

Analisis Tekno-Ekonomi Sistem Pendingin Hawa Terbantu Terma-Suria di Bangunan Pejabat

(Techno-Economic Analysis of Thermal-Solar Assisted Air Conditioning Systems in Office Buildings)

Nik Norhasanah Nik Hassan^{1*} , Aizzi Shakir Abdul Kadir² 
Norazlinda Mohamad³ 

¹Politeknik Port Dickson, Km 14 Jalan Pantai 71050 Si Rusa, Port Dickson, Negeri Sembilan, Malaysia.
Email: nikhasanah@polipd.edu.my

²Kolej Komuniti Miri, 5600 Jalan Permyjaya Utama Pusat Bandar Permyjaya, 98000 Miri, Sarawak, Malaysia.

Email: Aizzishakir85@gmail.com

³Jabatan Pendidikan Kejuruteraan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, 43650 Bandar Baru Bangi, Selangor, Malaysia.

Email: norazlinda.mohamad1987@gmail.com

ABSTRAK

CORRESPONDING

AUTHOR (*):

Nik Norhasanah Nik Hassan
(nikhasanah@polipd.edu.my)

KATA KUNCI:

Tekno-ekonomi
Pendingin-suria
Terma-suria
Bangunan suria

KEYWORDS:

Techno-economy
Solar cooler
Solar termal
Solar building

CITATION:

Nik Norhasanah Nik Hassan, Aizzi Shakir Abdul Kadir, & Norazlinda Mohamad. (2023). Analisis Tekno-Ekonomi Sistem Pendingin Hawa Terbantu Terma-Suria di Bangunan Pejabat. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 8(1), e001963.
<https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i1.1963>

Bangunan pejabat hijau menjadi konsep pembinaan pada masa kini bagi mengatasi masalah pencemaran. Pencemaran berlaku disebabkan oleh berbagai faktor, antaranya ialah pelepasan karbon daripada bangunan pejabat, iaitu kira-kira 80 – 90%. Kebelakangan ini, bangunan kerajaan di Malaysia kebanyakannya membebaskan jumlah karbon yang rendah selari dengan kesedaran tenaga mampan. Penggunaan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria merupakan salah satu kaedah yang menyumbang kepada pengurangan penggunaan tenaga elektrik iaitu sebanyak 60% atau bersamaan 2.4 juta kg karbon dioksida (CO₂) setahun yang dibebaskan ke udara selain dapat mengawal pencemaran udara di Malaysia. Justeru, kajian ini bertujuan untuk menilai pengagihan elektrik kepada sistem-sistem dan peralatan utama di bangunan pejabat, mentafsir corak penggunaan sistem pendingin hawa gabungan konvensional dan terbantu suria-terma di bangunan pejabat, serta menjalankan analisis tekno-ekonomi dan penilaian kitar hayat ke atas sistem pendingin hawa terbantu suria di bangunan pejabat. Kajian dijalankan di Ibu Pejabat Pembangunan Kemajuan Negeri Selangor (IPPKNS) yang terletak di Seksyen 14 Shah Alam yang menggunakan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria. Sistem ini yang menggunakan radiasi suria sebagai sumber boleh diperbaharui bertindak sebagai sumber tenaga kepada sistem penyejukan di dalam bangunan dan seterusnya mengurangkan kos operasi pendingin hawa. Berdasarkan analisis penjimatan tenaga, kitar hayat yang diambil kira dalam jangka 20 tahun menunjukkan pulangan kos

pendahuluan (*Pay Back Period*) selama sepuluh tahun dan kos operasi pendingin hawa dalam bangunan dapat dikurangkan sebanyak 5% setahun. Secara keseluruhannya, sistem pendingin hawa terbantu terma-suria ini berpotensi untuk dikomersialkan penggunaannya berikutan penjimatan yang ketara daripada segi kos dan kitar hayat sistem, serta mengurangkan pencemaran alam sekitar.

ABSTRACT

Green buildings are a construction concept used to overcome pollution today. Pollution is caused by a variety of factors, including carbon emissions from office buildings, which account for approximately 80-90% of total emissions. In recent years, Malaysian government buildings have mostly emitted low levels of carbon, reflecting a growing awareness of the importance of sustainable energy. In addition to being able to control air pollution in Malaysia, the use of a solar-assisted air conditioning system contributes to a 60% reduction in electricity consumption, or the equivalent of 2.4 million kg of carbon dioxide (CO₂) per year that is released into the air. Therefore, this study aims to assess the distribution of electricity to the main systems and equipment in office buildings, to interpret the usage patterns of conventional and solar-assisted combined air conditioning systems in office buildings, and to conduct a techno-economic analysis and life cycle assessment of the system solar assisted air conditioning in office buildings. The study was conducted at the Selangor State Development Headquarters (IPPKNS) located in Section 14 Shah Alam which uses a solar-assisted air conditioning system. This system, which uses solar radiation as a renewable energy source, serves as an energy source for the building's cooling system, further lowering the cost of air conditioning operations. Based on the energy savings analysis, the life cycle considered over a period of 20 years shows a ten-year return on investment (*Pay Back Period*) and a 5% reduction in the operating cost of air conditioning in the building. As a whole, this solar-assisted air conditioning system has the potential to be commercialised due to significant cost and system life cycle savings, as well as reduced environmental pollution.

Sumbangan/Keaslian: Kajian ini menyumbang kepada analisis penggunaan sistem pendingin hawa melalui penggunaan terma- suria sebagai sumber utama di bangunan pejabat.

1. Pengenalan

Malaysia antara negara yang cakna akan kepentingan kecekapan penggunaan tenaga dengan melaksanakan pelbagai inisiatif sejak tiga dekad dulu. Kesedaran ke arah pembangunan lestari berteraskan ekonomi, sosial dan alam sekitar semakin meningkat dari semasa ke semasa. Pembangunan sektor ekonomi yang pesat memberi kesan kenaikan suhu yang ketara kepada alam sekitar. Peningkatan suhu global menjadi salah satu ancaman terbesar pada abad ke-21 ([Subkhankulova, 2018](#)). Melalui mesyuarat

United Nations Framework Conference on Climate Change (UNFCCC) yang telah diadakan di Paris, 175 negara bersetuju untuk mengawal kenaikan suhu global dengan mengurangkan sebanyak 42 – 57% pelepasan Gas Rumah Hijau (GHG) menjelang tahun 2050. Malaysia mensasarkan pengurangan pencemaran gas karbon ke atmosfera sebanyak 45% menjelang tahun 2030 (Susskind et al., 2020).

Seiring matlamat tersebut, konsep bangunan hijau menjadi pilihan pada masa kini bagi mengatasi masalah pencemaran. Pembinaan lestari bukan sahaja mengambil kira aspek-aspek persekitaran, penggunaan bahan, operasi, dan kitar semula, tetapi turut mengambil kira peningkatan kecekapan tenaga dan air, pengurangan penggunaan bahan dan sumber semula jadi, selain peningkatan kesihatan dan persekitaran (Dwaikat & Ali, 2016).

Di Malaysia, beberapa kriteria tertentu diambil kira dalam pembangunan projek bangunan hijau yang dibangunkan oleh Majlis Persatuan Arkitek Malaysia (PAM) pada Ogos 2008 dan Jawatankuasa Kemapanan, terutama untuk membangunkan dan menetapkan Indeks Bangunan Hijau (GBI). Terdapat pelbagai faktor peningkatan penggunaan tenaga terutama dalam industri di Malaysia, antaranya ialah penggunaan tenaga yang tinggi di dalam bangunan pejabat. Penggunaan jumlah peralatan elektrik serta jangka masa penggunaan yang lama menjadi faktor utama peningkatan jumlah tenaga. Salah satu faktor penyumbang penggunaan tenaga yang tinggi di dalam bangunan pejabat adalah penggunaan pendingin hawa yang banyak dalam jangka masa yang lama. Walau bagaimanapun penggunaan teknologi berasaskan tenaga suria yang merupakan tenaga yang boleh diperbaharui dapat membantu mengatasi masalah peningkatan penggunaan tenaga yang ketara. Kerajaan Malaysia mula memberi tumpuan kepada pembaharuan tenaga untuk menangani cabaran perubahan iklim dan memenuhi keperluan tenaga dengan cara yang lestari. Menurut Jing et al. (2012), sistem pemanasan dan kuasa penyejukan bangunan solar baru yang didorong oleh tenaga suria dan gas asli dapat membantu mengurangkan penggunaan tenaga tidak boleh diperbaharui serta mengurangkan pelepasan pencemar.

Ibu Pejabat Pembangunan Kemajuan Negeri Selangor (IPPKNS) yang terletak di Seksyen 14 Shah Alam merupakan salah satu bangunan pejabat yang menggunakan konsep bangunan hijau dan mesra alam sekitar. IPPKNS beroperasi secara rasmi pada 1 Ogos 2017 dan telah memenangi anugerah kategori Platinum bagi *Green Large Building* di *Asean Energy Award 2018* dengan bacaan indeks tenaga bangunan (*Building Energy Index*, BEI) 88 kWj/m² per tahun dan penarafan ini dapat dikekalkan pada tahun 2019. Pengurangan penggunaan tenaga dicapai sebanyak 60% bersamaan dengan 2.4 juta kg/tahun pelepasan CO₂ ke udara secara tidak langsung dapat mengawal pencemaran udara di Malaysia. Di IPPKNS, pemasangan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria dengan keluasan 1200 m² tiub pengumpul suria menjadi salah satu faktor penjimatan tenaga. Pemasangan yang dibuat pada bahagian bumbung bangunan secara terbuka mampu mengumpulkan haba daripada sinaran matahari secara maksima.

1.1. Objektif Kajian

- i. Menilai pengagihan elektrik kepada sistem-sistem dan peralatan utama di bangunan pejabat.
- ii. Mentafsir corak penggunaan sistem pendingin hawa gabungan konvensional dan terbantu suria-terma di bangunan pejabat.

- iii. Menjalankan analisis tekno-ekonomi dan penilaian kitar hayat ke atas sistem pendingin hawa terbantu suria di bangunan pejabat.

2. Sorotan Literatur

2.1. Penggunaan Tenaga Bangunan

Permintaan terhadap penggunaan tenaga elektrik terus meningkat sebanyak 1.2% kepada 18,566 MW di semenanjung manakala permintaan di Sabah juga turut meningkat sebanyak 4.8% kepada 1,001 MW. Faktor utama peningkatan permintaan tenaga elektrik di Semenanjung dan Sabah adalah disebabkan oleh keadaan cuaca panas ketika fenomena El Nino yang telah melanda negara. Di negara maju, penggunaan tenaga di bangunan menyumbang 20- 40% dari jumlah penggunaan tenaga akhir. Terdapat dua jenis bangunan yang dikategorikan penyumbang tenaga yang tinggi iaitu domestik dan komersial. Antara faktor penyumbang tenaga tinggi di bangunan ialah disebabkan oleh pertumbuhan penduduk, peningkatan permintaan untuk perkhidmatan bangunan dan tahap penyelesaian serta masa yang panjang di dalam bangunan. Keadaan ini memberi kesan kepada aliran permintaan tenaga yang akan terus berlanjutan pada masa depan. Secara amnya, tenaga di bangunan pejabat digunakan untuk pemanasan, penyejukan, pencahayaan, komputer dan mesin pencetak. Penggunaan sistem pendingin hawa mencatat peratusan yang tinggi iaitu 50% penggunaan tenaga di dalam bangunan, 15% penggunaan pencahayaan dan 10% adalah dari penggunaan peralatan pejabat. Perkara ini dilihat dengan lebih dekat di mana terdapat dua faktor utama kenaikan peratusan penggunaan tenaga berlaku dalam sistem pendingin hawa iaitu faktor jenis pendingin hawa yang diguna dan lokasi pemasangan di dalam bangunan ([Pérez-Lombard et al., 2008](#); [Santamouris & Dascalaki, 2002](#); [Ihara et al., 2015](#)). Malaysia terletak di Asia Tenggara berhampiran khatulistiwa dengan koordinat 2 ° 30 ' N dan 112 ° 30 ' E, dan luas keseluruhan 329.750 km per segi ([Shaikh et al., 2017](#)). Keadaan ini memberi kesan pemanasan dan perubahan iklim pada struktur bangunan secara tidak langsung permintaan tenaga yang tinggi untuk penyejukan. Menurut kajian yang dijalankan oleh [Sayadi et al. \(2010\)](#) menyatakan kadar penggunaan tenaga elektrik yang tinggi dapat dikurangkan melalui pemasangan sistem pendingin hawa terma-suria yang bertindak sebagai medan pemungut suria untuk menghasilkan tenaga elektrik agar sesuai dengan beban lain yang berfungsi sebagai pemanasan atau penyejukan ruang bangunan di samping penjimatan kos yang optimal. Penggunaan sistem suria yang dapat diaplikasi secara meluas dapat membantu pengurangan permintaan tenaga elektrik yang tinggi.

2.2. Penggunaan Tenaga Suria Ke Atas Sistem Pendingin Hawa Bangunan

Malaysia berpotensi untuk menjana tenaga elektrik melalui sinaran matahari. Menurut kajian yang telah dijalankan oleh [Mekhilef et al. \(2012\)](#), purata sinaran suria harian sebanyak 400- 600 MJ/m² iaitu 4- 8jam/hari dan ini menunjukkan bacaan yang tinggi serta mampu untuk menjana tenaga menerusi sinaran matahari. Oleh yang demikian, tenaga haba suria dianggap sebagai sumber tenaga yang boleh diperbaharui yang dapat menjana tenaga bagi membolehkan pengoperasian aplikasi penyaman udara yang baik. Selain itu juga, terdapat beberapa faktor bagi menentukan kecekapan penggunaan tenaga di bangunan, termasuk reka bentuk bangunan dan bahan binaan seperti penggunaan kaca atau penebat dan kecekapan peralatan di dalam bangunan seperti sistem pemanasan, penyejukan dan pengudaraan (HVAC), pencahayaan, peralatan dan elektronik.

Aplikasi tenaga suria juga banyak digunakan untuk pemanasan dan pengudaraan untuk penyaman udara di bangunan. Sistem ini menyumbang sebahagian penggunaan tenaga terbesar di bangunan. Pada tahun 2010, bangunan kediaman menggunakan sekitar 55% penggunaan tenaga tahunan dunia untuk penyejukan dan selebihnya oleh bangunan komersial (Ibrahim et al., 2018). Permintaan penggunaan pendingin hawa dipengaruhi oleh suhu atmosfera yang tinggi di mana hampir semua bangunan disejukkan oleh sistem pendingin hawa konvensional berkuasa elektrik. Sebagai langkah penjimatan tenaga, pembangunan sistem pendingin hawa yang menggunakan sumber alternatif digunakan bagi menjimatkan tenaga elektrik yang kebanyakannya dihasilkan oleh bahan bakar fosil. Aplikasi ini mampu untuk mengurangkan pelepasan karbon dan dapat mengawal pemanasan global. Di negara Arab Saudi, tenaga suria menjadi keutamaan sebagai sumber tenaga bagi pendingin hawa untuk sistem penyejukan di bangunan kerana keadaan persekitaran yang mempunyai jumlah sinaran yang tinggi (Al-Ugla et al., 2016).

2.3. Analisis Tekno-Ekonomi

Analisis tekno-ekonomi merupakan penilaian yang dijalankan ke atas gabungan antara teknologi dan ekonomi. Terdapat beberapa kaedah yang perlu dilaksanakan dalam menganalisis tekno-ekonomi bagi melihat kebolehlaksanaan sesuatu projek yang dibina serta penilaian ke atas teknologi dan pelaburan yang di buat (Lauer, 2008). Antaranya ialah kos tenaga yang diselaraskan, LCOE (*Levelized Cost of Energy*), nilai kini bersih, NPV (*Net Present Value*), pulangan pelaburan, ROI (*Return on Investment*), pengiraan kos kitar hayat, LCC (*Life Cycle Cost*), dan pengiraan tempoh pulangan pelaburan, PP (*Payback Period*). Selain itu juga, analisis yang dibuat turut mengambil kira faktor-faktor impak ekonomi semasa, tarif elektrik, pembiayaan bahan, kadar faedah pinjaman waktu dan lokasi yang boleh menyebabkan perbezaan ketara dalam prestasi ekonomi dan pelaburan semasa. Malaysia mempunyai kadar pancaran suria yang tinggi iaitu 4000–5000 Wh/m² dan iklim yang baik mampu untuk penyerapan tenaga suria terhadap sistem tenaga suria yang diguna dalam sistem pendingin hawa (Ahmad Fudholia et al., 2015). Namun begitu, di Malaysia masih kurang penggunaan sistem ini disebabkan oleh kurang pemahaman, kesedaran dan kos pemasangan yang tinggi. Melalui analisis yang dibuat terhadap sistem pendingin hawa tenaga suria merangkumi pulangan pelaburan (*Return on Investment*), pengiraan kos kitar hayat, LCC (*Life Cycle Cost*), dan pengiraan tempoh pulangan pelaburan, PP (*Payback Period*) (Ali et al., 2009; Chong et al., 2011) dan teknik pengiraan kos kitar hayat adalah kaedah yang digunakan untuk mendapat perbezaan antara kos pada masa hadapan menggunakan data nilai kini bersih (*Net Present Value*) (Gopanagani & Velpula, 2020).

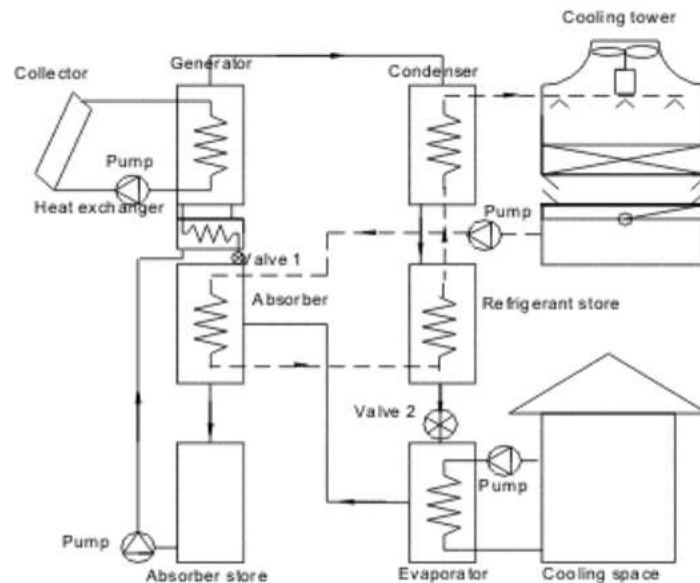
Analisis kos kitaran hayat adalah kaedah penilaian yang digunakan terhadap penggunaan sistem atau teknologi yang dibangunkan dan perbandingan nilai ke atas pelaburan yang telah dibuat. Melalui analisis yang dibuat juga dapat membantu dalam menilai tempoh bayaran balik serta kitaran hidup pelaburan dari kos awal hingga kos akhir hayat sistem termasuk kadar inflasi semasa (Qabaja, 2017). Menurut Cabeza et al. (2014), penilaian kitaran hayat adalah alat untuk menganalisis secara sistematik prestasi persekitaran produk atau proses sepanjang pengoperasian sistem.

3. Metod Kajian

3.1. Latar Belakang Penyelidikan

Kajian ini memfokuskan kepada kajian kes di Bangunan Ibu Pejabat PKNS, Shah Alam dengan menganalisis kecekapan tenaga melalui penjanaan tenaga oleh sistem pendingin hawa terbantu terma-suria dan pengiraan kos kitar hayat sistem serta jangkaan pulangan pelaburan melalui penjimatan tenaga yang dihasilkan daripada pembangunan sistem pendingin hawa jenis terma-suria yang dipasang di bangunan tersebut. [Rajah 1](#) menunjukkan lakaran pelan bagi sistem pendingin hawa terbantu terma-suria yang digunakan di bangunan kajian. Sistem ini menggunakan larutan air (H_2O) dan lithium bromida ($LiBr$) sebagai medium larutan.

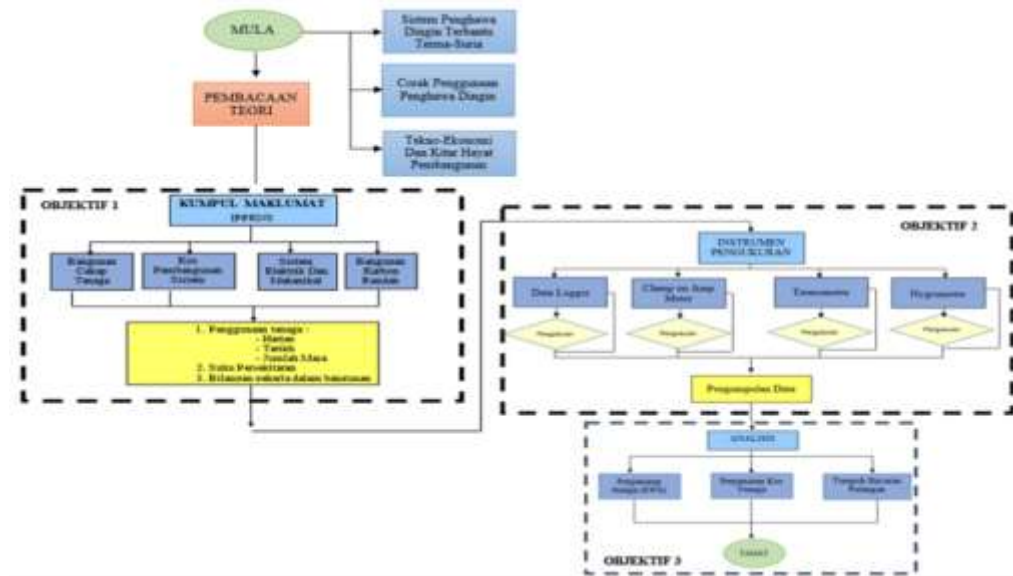
Rajah 1: Lakaran pelan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria



Source: [Mittal, Kasana & Thakur \(2015\)](#)

Sistem ini berfungsi apabila terdapat penyerapan sinaran suria oleh tiub pengumpul (*collector*) yang terletak di bahagian bumbung dan memindahkan tenaga yang terhasil kepada air yang terdapat di dalam sistem untuk dipanaskan seterusnya masuk ke tangki simpanan air panas. Suhu air di dalam tangki akan meningkat sehingga 70 °C hingga 90 °C untuk dibekalkan kepada sistem penjana (*generator*) yang bertindak sebagai pemampat untuk proses penyejukan. Proses penyejukan berlaku di mana wap pendingin yang masuk ke pemeluwap (*condensor*) akan disejukkan dengan menggunakan air yang mengalir menerusi paip yang dipasang seterusnya terkondensasi kepada cecair bertekanan. Proses ini berterusan sehingga air yang bersuhu rendah keluar dari sistem penyejuk (*solar chiller*) disejat mengalir dalam paip untuk disalurkan kepada sistem pendingin hawa seterusnya dibebaskan ke ruang pejabat. Kaedah penyelidikan dijalankan seperti [Rajah 2](#).

Rajah 2: Carta alir kaedah penyelidikan



3.2. Pengumpulan dan Penganalisisan Data

Data yang diperoleh hasil daripada pengukuran yang telah dibuat dianalisis merujuk kepada Pusat Tenaga Malaysia 2004. Pengiraan bagi penjimatan tahunan tenaga dibuat bagi melihat perbezaan penggunaan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria dan sistem pendingin hawa konvensional. Berikut adalah pengiraan parameter yang terlibat:

$$\text{Indeks tenaga bangunan} = \frac{\text{Jum.tenaga tahunan bangunan (kWj)}}{\text{Keluasan lantai (m}^2\text{)}}$$

Penjimatan tahunan Sistem Penghawa dingin terbantu terma – suria

$$= \frac{\text{Beza Penggunaan tahunan (kWj)}_{\text{tahun}}}{\text{Jum.penggunaan tahunan tenaga (kWj)}_{\text{tahun}}}$$

Pengiraan nilai bersih terkini (*Net Present Value*) adalah kos pembayaran tertentu yang dikenakan pada masa hadapan dan kadar diskaun yang diperoleh merujuk kepada faktor semasa dan kadar inflasi. Nilai yang dibuat merujuk kepada persamaan 3.3 di mana PV adalah nilai semasa (*Present Value*), N adalah bilangan tahun, dan i ialah jangkaan nilai inflasi tahunan (Alrwashdeh & Ammari, 2019):

$$PV = \frac{1}{(1+i)^N}$$

Jumlah pengiraan kos kitar hayat (LCC) dikira dengan membuat perbandingan kos antara dua sistem pendingin hawa iaitu sistem pendingin hawa terbantu terma-suria dan sistem pendingin hawa konvensional.

$$LCC_{\text{alternatif}} = \text{kadar Penjimatan Tenaga} + (\text{kos berkala} + \text{kos operasi} + \text{kos penyelenggaraan})$$

Analisis seterusnya adalah pengiraan pulangan pelaburan yang dibuat setelah pemasangan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria dipasang di bangunan kajian. Pengiraan dibuat bagi menentukan bilangan tahun yang diperlukan untuk mendapat pulangan bayaran balik terhadap kos permulaan pelaburan melalui sistem yang dipasang dan pengiraan penjimatan tenaga (kWj) dan kos tenaga turut dibuat pengiraan dalam menentukan pulangan pelaburan.

$$\text{Penjimatan tenaga} = \text{penjimatan tenaga sebelum pelaksanaan (kWj)} - \text{jum. penjimatan tenaga pelaksanaan}$$

$$\text{Penjimatan kos tenaga} = \text{jumlah penjimatan tenaga} \times \text{kadar tariff}$$

$$\text{Anggaran tempoh bayaran pulangan} = \frac{\text{kos pelaburan keseluruhan}}{\text{penjimatan kos tenaga tahunan}}$$

4. Hasil Kajian

4.1. Menilai pengagihan elektrik kepada sistem-sistem dan peralatan utama di bangunan pejabat

Penggunaan tenaga di bangunan kajian telah direkodkan sepanjang tahun 2019 bermula Januari hingga Disember bagi kedua-dua sistem pendingin hawa. [Rajah 3](#) menunjukkan jumlah tenaga yang digunakan bagi pendingin hawa di Ibu Pejabat PKNS diambil pada bulan Januari hingga Disember 2019. Daripada analisis tersebut mendapati penggunaan pendingin hawa pada bulan April adalah paling tinggi dengan bacaan 59,829 kWj. Manakala penggunaan paling rendah adalah pada bulan Jun 2019 sebanyak 45,857 kWj.

Rajah 3: Jumlah Penggunaan Tenaga Pendingin Hawa Di Bangunan Kajian



4.2. Mentafsir corak penggunaan sistem pendingin hawa gabungan konvensional dan terbantu suria-terma di bangunan pejabat

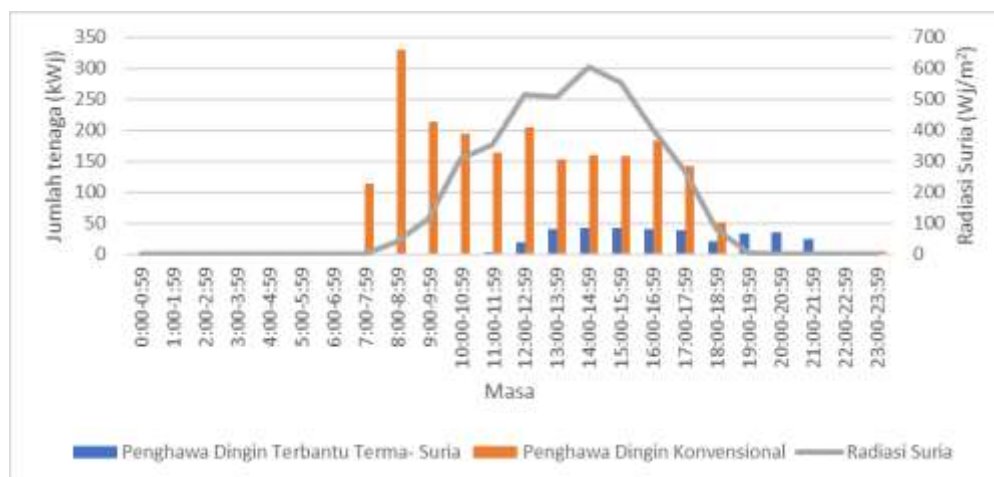
[Rajah 4](#) menunjukkan jumlah penggunaan tenaga pendingin hawa konvensional dan pendingin hawa terbantu terma-suria. Penggunaan pendingin hawa konvensional menunjukkan bacaan tinggi pada bulan April dengan bacaan tenaga 52,885 kWj manakala bacaan paling rendah adalah pada Jun dengan bacaan 39,586 kWj. Bagi penggunaan pendingin hawa terbantu terma-suria menunjukkan bacaan paling tinggi pada bulan Mac sebanyak 8,590 kWj dan bacaan paling rendah pada Disember sebanyak 4,902 kWj. Secara keseluruhan penggunaan tenaga bagi pendingin hawa adalah menggunakan sistem konvensional. Namun begitu sistem ini disokong oleh sistem pendingin hawa terbantu terma-suria secara berjadual bagi tujuan penjimatan tenaga elektrik di mana penggunaan radiasi suria sebagai sumber tenaga menggantikan tenaga elektrik sepenuhnya.

Rajah 4: Jumlah Penggunaan Tenaga Penghawa Dingin Mengikut Jenis Bagi Tahun 2019



Penjanaan tenaga terma-suria dipengaruhi oleh radiasi suria di kawasan kajian. [Rajah 5](#) menunjukkan penggunaan pendingin hawa terbantu terma-suria pada Isnin, 5 Ogos 2019 selama 24 jam. Penggunaan tenaga bagi pendingin hawa konvensional bermula pada jam 7.00 pagi dengan bacaan tenaga 113 kWj di mana staf di Ibu Pejabat PKNS mula hadir bagi aktiviti kerja harian. Kadar radiasi pada jam 7.00 petang menunjukkan bacaan 0 Wj/m². Bacaan tenaga penggunaan pendingin hawa konvensional semakin meningkat pada jam 8.00 pagi dengan bacaan 331 kWj dan terus meningkat kepada 164 kWj pada jam 11.00 pagi.

Rajah 5: Penggunaan Pendingin Hawa Terbantu Terma-Suria Dan Pendingin Hawa Konvensional

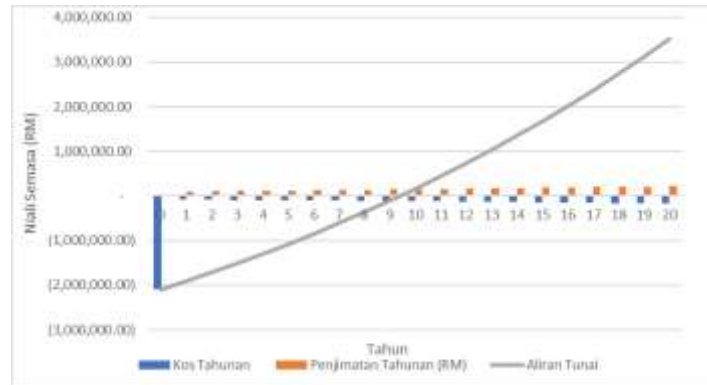


4.3. Menjalankan analisis tekno-ekonomi dan penilaian kitar hayat ke atas sistem pendingin hawa terbantu suria di bangunan pejabat

Analisis tekno-ekonomi dibuat seperti [Rajah 6](#) bagi penggunaan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria di bangunan Ibu Pejabat PKNS selama 20 tahun. Daripada analisis tersebut dapat dilihat tempoh bayaran balik sistem pendingin hawa terbantu terma-suria yang dipasang mengambil masa selama 10 tahun dengan nilai semasa sebanyak

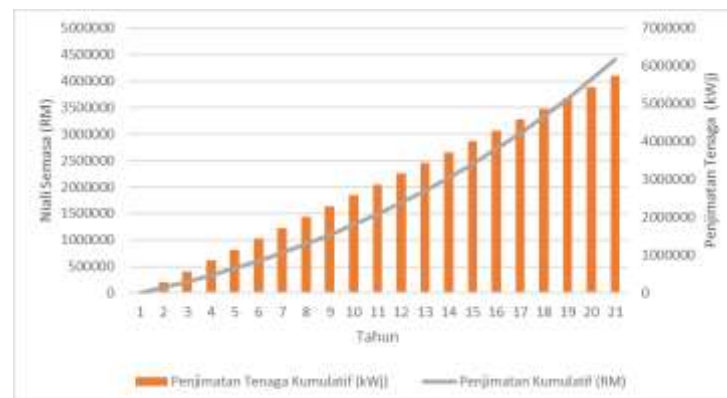
RM164 211.61. Sistem ini juga memerlukan penyelenggaraan bulanan dengan kos sebanyak RM7,000 dengan jumlah tahunan RM84,000. Nilai semasa sistem bagi tempoh 20 tahun RM3,515,797.89 manakala jumlah simpanan yang dijana adalah sebanyak RM220,351.82.

Rajah 6: Analisis Ekonomi Penggunaan Pendingin Hawa Terbantu Terma-Suria



Rajah 7 menunjukkan nilai kumulatif tenaga yang dapat dijimatkan daripada sistem pendingin hawa terbantu terma-suria. Jumlah tenaga pada tahun pertama adalah sebanyak 286,543.35 kWj dan RM104,588.32 dapat dijimatkan berbanding penggunaan pendingin hawa konvensional sepenuhnya di bangunan komersial. Analisis dibuat sehingga 20 tahun mendapati penjimatan tenaga terkumpul yang diperolehi adalah sebanyak 5,730,867 kWj dengan jumlah penjimatan kos sebanyak RM4,407,036.43. Daripada analisis ini dapat dilihat peningkatan penjimatan setiap tahun dari aspek penjimatan kos tenaga sehingga 5%.

Rajah 7: Analisis Penjimatan Sistem Pendingin Hawa Kumulatif Tenaga Dan Kos



5. Perbincangan Kajian

5.1. Pengagihan elektrik di bangunan pejabat

Sistem pendingin hawa di Ibu Pejabat PKNS dilengkapi dengan tiga sistem penyejuk bagi pendingin hawa konvensional dan satu sistem penyejuk pendingin hawa terbantu terma-suria yang berfungsi sebagai membantu operasi penyejukan di dalam bangunan. Bangunan ini terdiri daripada empat blok bangunan dengan jumlah keluasan bangunan adalah 45,106.13 m². Menurut Chua et al. 2013, tenaga elektrik yang diguna untuk sistem pemanasan, pengudaraan (HVAC) dan penyaman udara boleh mencecah 50%

daripada jumlah keseluruhan tenaga sesebuah bangunan. Sistem penyejukan pada masa kini menggunakan teknologi pelan penyejukan, pemampat, menara penyejuk, pam dan kipas sebagai pelengkap sistem. Melalui sistem ini secara tidak langsung akan meningkatkan penggunaan tenaga di dalam bangunan pejabat. Kajian juga telah menunjukkan bahawa penggunaan pendingin hawa di bangunan pejabat tinggi disebabkan oleh beberapa faktor seperti waktu operasi yang lama iaitu bermula jam 7.00 pagi hingga 6.00 petang, kedudukan pendingin hawa dan sistem pendingin hawa yang bersaiz besar berbanding keperluan kapasiti sesebuah bilik (Birkha et al. 2021).

5.2. Corak penggunaan sistem pendingin hawa gabungan konvensional dan terbantu suria-terma di bangunan pejabat

Menurut laporan kaji cuaca Jabatan Meteorologi Malaysia, fenomena cuaca panas dan kering berlaku di Malaysia bermula Februari 2019 sehingga kemuncak pada bulan April 2019. Pengaruh beberapa fenomena terutama Elnino Modoki dan peningkatan pancaran matahari yang menghampiri fenomena ekuinoks. Peningkatan cuaca yang mendadak menyebabkan penggunaan tenaga yang tinggi bagi pendingin hawa dan semakin berkurang pada bulan Mei 2019. Bagi bulan Jun 2019, Malaysia menerima hujan yang banyak dan keadaan yang dingin memberi kesan pengurangan kepada penggunaan pendingin hawa di dalam bangunan. Daripada analisis ini juga dapat dikenal pasti peratus penggunaan tenaga secara keseluruhannya adalah mencecah 21% hingga 26% setiap bulan bagi penggunaan tenaga pendingin hawa di bangunan PKNS. Melihat kepada jumlah tenaga yang diguna dalam sesebuah bangunan, adalah penting untuk memilih kaedah terbaik dalam menangani peningkatan jumlah penggunaan barangan elektrik yang betul. Secara tidak langsung kaedah ini membantu untuk mengurangkan kos penggunaan tenaga di dalam bangunan.

Prestasi penggunaan tenaga bagi bangunan kerajaan telah ditetapkan oleh Kementerian Tenaga, Sains, Teknologi dan Alam Sekitar dengan mengambil kira indeks tenaga bangunan. Beberapa perkara perlu diambil kira dalam penentuan kadar pelabelan BEI seperti mana yang telah digariskan oleh Suruhanjaya Tenaga Malaysia. Antaranya adalah pelabelan tertinggi dengan bacaan BEI kurang daripada 100 kWj/m²/tahun mendapat lima bintang manakala bacaan BEI yang paling rendah iaitu satu bintang dengan bacaan lebih daripada 250 kWj/m²/tahun.

5.3. Analisis tekno-ekonomi dan penilaian kitar hayat ke atas sistem pendingin hawa terbantu suria di bangunan pejabat

Analisis yang dibuat adalah merangkumi kos pemasangan dan kos penyelenggaraan sistem pendingin hawa terbantu terma- suria. Sistem yang dilengkapi dengan sistem penjana, sistem serapan penyejuk, menara penyejuk, pam penyejuk, pam air penyerapan, pam air panas dan set tiub pengumpul suria yang dipasang pada bumbung bangunan blok C Ibu Pejabat PKNS. Kos operasi bagi pemasangan sistem ini iaitu sebanyak RM2.1 juta memerlukan penyelenggaraan secara bulanan bagi membantu kelancaran serta penjanaan tenaga secara maksimum dengan kos sebanyak RM84 000 setahun.

Penilaian ekonomi dibuat dengan mengambil kira kos operasi terhadap penjanaan tenaga bagi sistem pendingin hawa terbantu terma-suria. Kitar hayat selama 20 tahun diambil bagi analisis kitar hayat dengan merujuk kepada ASHRAE, sistem penyejuk boleh berfungsi dengan kecekapan yang baik dalam jangka masa selama 20 tahun

(ASHRAE_Chart_HVAC_Life_Expectancy n.d.). Kos pendahuluan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria sebanyak RM2,100,000 yang mempunyai dua sistem penyejuk (*chiller*) mampu untuk membantu sistem pendingin hawa konvensional dalam operasi penyejukan di dalam kawasan bangunan. Daripada analisis tersebut dapat dilihat tempoh bayaran balik sistem pendingin hawa terbantu terma-suria yang dipasang mengambil masa selama sepuluh tahun dengan nilai semasa sebanyak RM164 211.61. Analisis dibuat sehingga 20 tahun mendapati penjimatan tenaga terkumpul yang diperolehi adalah sebanyak 5,730,867 kWj dengan jumlah penjimatan kos sebanyak RM4,407,036.43. Daripada analisis ini dapat dilihat peningkatan penjimatan setiap tahun daripada aspek penjimatan kos tenaga sehingga 5%.

6. Kesimpulan

Penggunaan tenaga elektrik bagi sistem pendingin hawa adalah sebanyak 23% daripada jumlah penggunaan tenaga keseluruhan bangunan. Peratusan ini adalah rendah berbanding bangunan pejabat yang lain kerana sistem penyejukan di dalam bangunan ini dibantu oleh sistem pendingin hawa terbantu terma-suria. Daripada anggaran yang dibuat bagi penggunaan pendingin hawa konvensional sepenuhnya, bacaan penggunaan tenaga bangunan pada tahun 2019 mencecah 30% iaitu 923,306.35 kWj daripada keseluruhan tenaga iaitu 2,106,050 kWj. Pengoperasian pendingin hawa memerlukan jumlah kuasa (*watt*) yang tinggi bergantung kepada kuasa kuda (*horse power, hp*) sesebuah pendingin hawa dan tenaga yang banyak sepanjang operasi penyejukan sesuatu kawasan. Daripada kajian yang dijalankan mendapati corak penggunaan sistem pendingin hawa di bangunan Ibu Pejabat PKNS ini beroperasi bermula jam 7.00 pagi hingga 6.00 petang. Jumlah tenaga dalam penggunaan pendingin hawa adalah tinggi pada April atas faktor cuaca panas dan bacaan tenaga rendah pada bulan Jun kerana Malaysia menerima jumlah yang banyak dan persekitaran yang sejuk. Radisi suria menjadi sumber tenaga kepada sistem pendingin hawa terma-suria dan akan mengurangkan penggunaan sistem penyejuk pendingin hawa konvensional beroperasi. Kadar kitar hayat dalam kajian ini mengambil kira kitaran 20 tahun mendapati jangka masa diperolehi adalah selama 10 tahun bagi sistem ini mendapat bayaran balik daripada kos pendahuluan yang dibuat sebanyak RM2,100,000 dengan nilai semasa sebanyak RM164,211.61. Pengiraan nilai semasa sistem bagi tempoh 20 tahun ialah RM3,515 797.89 manakala jumlah simpanan yang dijana adalah sebanyak RM220,351.82. Penjimatan terkumpul yang diperolehi adalah sebanyak 5,730, 867 kWj dengan jumlah penjimatan kos operasi pendingin hawa di dalam bangunan sebanyak RM4,407,036.43.

Pemasangan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria mempunyai potensi yang besar untuk diketengahkan sebagai salah satu kaedah penjimatan tenaga di dalam bangunan. Penggunaan terma-suria sebagai sumber yang diperbaharui secara sepenuhnya mampu untuk mengurangkan kos operasi pendingin hawa di bangunan pejabat dan bangunan- bangunan komersial di samping kesedaran terhadap kelestarian tenaga. Penilaian yang dibuat dalam kajian ini merangkumi penggunaan sistem pendingin hawa terbantu terma-suria secara berjadual sepanjang tahun 2019. Oleh yang demikian, kajian pada masa hadapan perlu melaksanakan penilaian tekno-ekonomi dengan penggunaan sistem ini secara menyeluruh bagi melihat lebih terperinci nilai semasa dan penjimatan yang diperolehi daripada sistem pendingin hawa terbantu terma-suria.

Penghargaan (*Acknowledgement*)

Penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung dalam menyumbang kepakaran dan idea yang bernas dalam penyelidikan ini.

Kewangan (*Funding*)

Kajian dan penerbitan ini tidak menerima sebarang tajaan atau bantuan kewangan.

Konflik Kepentingan (*Conflict of Interest*)

Penulis melaporkan tiada sebarang konflik kepentingan berkenaan penyelidikan, pengarang atau penerbitan kajian ini.

Rujukan

- Ahmad Fudholia et al. (2015). Techno-economic of solar drying systems with water based solar collectors in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 809-820.
- Ali, B., Sopian, K., Ghoul, M. al, Othman, M. Y., Zaharim, A., & Razali, A. M. (2009). Economics of domestic solar hot water heating systems in Malaysia. *European Journal of Scientific Research*, 26(1), 20-28.
- Alrwashdeh, S. S., & Ammari, H. (2019). Case Studies in Thermal Engineering Life cycle cost analysis of two different refrigeration systems powered by solar energy. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16(November), 100559. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100559>
- Al-Ugla, A. A., El-Shaarawi, M. A. I., Said, S. A. M., & Al-Qutub, A. M. (2016). Techno-economic analysis of solar-assisted air-conditioning systems for commercial buildings in Saudi Arabia. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 54, pp. 1301-1310). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.047>
- ASHRAE_Chart_HVAC_Life_Expectancy. (n.d.).
- Birkha Mohd Ali, S., Hasanuzzaman, M., Rahim, N.A., Mamun, M.A.A. & Obaidellah, U.H. (2021). Analysis of energy consumption and potential energy savings of an institutional building in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 805-820.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394-416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- Chong, W. T., Naghavi, M. S., Poh, S. C., Mahlia, T. M. I., & Pan, K. C. (2011). Techno-economic analysis of a wind-solar hybrid renewable energy system with rainwater collection feature for urban high-rise application. *Applied Energy*, 88(11), 4067-4077. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.042>
- Chua, K.J., Chou, S.K., Yang, W.M. & Yan, J. (2013). *Achieving better energy-efficient air conditioning - A review of technologies and strategies*. Elsevier Ltd.:
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2016). Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings*, 110, 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.021>

- Gopanagoni, V., & Velpula, S. L. (2020). An analytical approach on life cycle cost analysis of a green building. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.226>
- Ibrahim, N. I., Al-Sulaiman, F. A., & Ani, F. N. (2018). Solar absorption systems with integrated absorption energy storage–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(July), 1602–1610. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.005>
- Ihara, T., Gustavsen, A., & Jelle, B. P. (2015). Effect of facade components on energy efficiency in office buildings. *Applied Energy*, 158, 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.074>
- Jing, Y. Y., Bai, H., Wang, J. J., & Liu, L. (2012). Life cycle assessment of a solar combined cooling heating and power system in different operation strategies. *Applied Energy*, 92, 843–853. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.046>
- Lauer, M. (2008). Methodology guideline on techno economic assessment (TEA). *Intelligent Energy Europe*, 25. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/thermalnet_methodology_guideline_on_techno_economic_assessment.pdf
- Mekhilef, S., Safari, A., Mustaffa, W. E. S., Saidur, R., Omar, R., & Younis, M. A. A. (2012). Solar energy in Malaysia: Current state and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.003>
- Mittal, V., Kasana, K. S. & Thakur, N. S. (2015). *The study of solar absorption air-conditioning system. Journal of Energy in Southern Africa*, 16(4), 59-66.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Qabaja, M. (2017). *Application Life Cycle Cost Analysis In The Building Sector In Saudi Arabia*. [Master Degree], Near East University. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17014.11849>
- Santamouris, M., & Dascalaki, E. (2002). Passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor environment: The OFFICE project. *Building and Environment*, 37(6), 575–578. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00004-5)
- Sayadi, Z., el May, S., Bourouis, M., & Bellagi, A. (2010). Technical and economic analysis of a solar - Assisted air-conditioning system. *2010 3rd International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies, Theory and Applications - Proceedings, ThETA3 2010*, 4, 331–338. <https://doi.org/10.1109/THETA.2010.5766415>
- Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Sahito, A. A., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Shaikh, M. S. (2017). Building energy for sustainable development in Malaysia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(November), 1392–1403. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.128>
- Subkhankulova, D. (2018). *Exploring future opportunities and challenges of Demand Side Management with Agent Based Modelling*. [PhD Thesis], University College London.
- Susskind, L., Chun, J., Goldberg, S., Gordon, J. A., Smith, G., & Zaerpoor, Y. (2020). Breaking Out of Carbon Lock-In: Malaysia's Path to Decarbonization. *Frontiers in Built Environment*, 6(March).