

Penilaian potensi penuaian air hujan bagi kelestarian kampus: Kajian kes Kolej Keris Mas, UKM

Mohd Sharmizi Shaferi¹, Frankie Marcus Ata¹, Mohd Ekhwan Toriman², Mohd Khairul Amri Kamarudin³, Fateen Nabilla Rasli¹, Mir Sujaul Islam⁴, Dona Raihana Don Ramli¹

¹Program Geografi, Pusat Kajian Pembangunan, Sosial dan Persekitaran,
Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia

²Pusat Perundingan Strategik Antarabangsa dan Matlamat Pembangunan Mampan,
Universiti Kebangsaan Malaysia

³Fakulti Sains Sosial Gunaan, Universiti Sultan Zainal Abidin

⁴Institut Alam Sekitar dan Pembangunan, Universiti Kebangsaan Malaysia

Correspondence: Frankie Marcus Ata (email: frankie@ukm.edu.my)

Received: 22 September 2025; Accepted: 19 December 2025; Published: 25 February 2026

Abstrak

Sumber air alternatif merupakan amalan dan kaedah yang penting pada masa ini kesan daripada fenomena perubahan iklim yang tidak menentu dan sukar diramal. Permintaan air terawat oleh pengguna di universiti yang semakin meningkat telah menjadikan penuaian hujan sebagai sumber air alternatif yang penting untuk diperluas dalam memastikan bekalan air mencukupi dan mampan. Penghasilan air kelabu (*greywater*) yang meningkat di dalam kawasan universiti khususnya di kolej kediaman menjadi punca kepada permintaan sumber air terawat yang tinggi. Kajian ini bertujuan untuk menilai tren hujan bulanan serta potensi pelaksanaan penuaian hujan di Kolej Keris Mas, UKM Bangi. Analisis tren purata hujan bulanan menggunakan Microsoft Excel manakala aplikasi ArcGIS Pro digunakan untuk menganalisis jenis dan keluasan permukaan bumbung serta penggunaan Kaedah Rasional Terubahsuai untuk menganggarkan potensi tuaian hujan di Kolej Keris Mas. Hasil kajian mendapati tren peningkatan purata hujan bulanan dengan nilai R^2 sebanyak 0.230. Seterusnya, hasil kajian mendapati sebahagian besar bumbung di kawasan kajian adalah daripada jenis genting simen dengan keluasan 10,758 m² berbanding jenis dek logam iaitu dengan keluasan 3,043 m². Dengan itu, hasil kajian menunjukkan purata tuaian hujan per bulan sebanyak 1,983.60 m³ dengan anggaran tuaian hujan tertinggi direkodkan pada bulan November iaitu sebanyak 3,250.30 m³ manakala anggaran tuaian hujan terendah dicatatkan pada bulan Mei iaitu sebanyak 1,995.32 m³. Oleh itu, kajian potensi penuaian hujan di Kolej Keris Mas amat penting untuk dilaksanakan bagi mengurangkan kebergantungan terhadap sumber air terawat.

Kata kunci: Kaedah Rasional Terubahsuai, kelestarian, perubahan iklim, potensi tuaian, sistem penuaian air hujan, universiti

Assessment of rainwater harvesting potential for campus sustainability: Case study of Kolej Keris Mas, UKM

Abstract

Alternative water sources are an essential practice and method nowadays due to unstable and unpredictable climate change. The increasing demand for treated water by university users has made rainwater harvesting an important alternative water source that must be expanded to ensure a sufficient and sustainable water supply. The rising production of greywater within the university area, particularly in residential colleges, contributes to the high demand for treated water sources. This study aims to assess the monthly rainfall trend and the implementation potential of rainwater harvesting at Kolej Keris Mas, UKM Bangi. The analysis of average monthly rainfall trend was conducted using Microsoft Excel, while ArcGIS Pro was applied to analyze the types and areas of roof surfaces. The Modified Rational Method was used to estimate the rainwater harvesting potential at Kolej Keris Mas. The findings indicate an increasing trend in average monthly rainfall, with an R^2 value of 0.230. Furthermore, the study found that most roof type in the study area are made of cement tiles, covering an area of 10,758 m², compared to metal deck roofs, which cover 3,043 m². As a result, the study shows an average monthly rainwater harvested of 1,983.60 m³, with the highest estimated harvest recorded in November at 3,250.30 m³, while the lowest was recorded in May at 1,995.32 m³. Therefore, the study on the potential of rainwater harvesting at Kolej Keris Mas is crucial in reducing dependence on treated water sources.

Keywords: Modified Rational Method, sustainability, climate change, harvest potential, rainwater harvesting system, university

Pengenalan

Mutakhir ini, penuaian air hujan merupakan satu kaedah penting dalam penyediaan sumber air alternatif untuk memenuhi keperluan pengguna domestik, industri dan pertanian (García-Ávila et al., 2023; Haliza, 2021). Penuaian air hujan ditakrifkan sebagai proses pengumpulan dan penyimpanan air hujan untuk digunakan berbanding dibiarkan terbazir sebagai air larian permukaan (Nor Hafizi et al., 2018). Kaedah ini telah diamalkan sejak ribuan tahun dahulu di seluruh dunia untuk mendapatkan sumber air dan mengatasi permintaan terhadap air bersih yang semakin meningkat (Nur Syarina et al., 2017). Oleh sebab itu, penuaian air hujan dianggap sebagai satu Amalan Pengurusan Terbaik di Malaysia dan melalui agensi-agensi berkaitan, kerajaan Malaysia terus memperkasakannya (Jabatan Perancangan Bandar dan Desa Semenanjung Malaysia, 1999; Nor Hafizi et al., 2018; Shamsuddin et al., 2017). Sehingga hari ini, pelbagai garis panduan diperkenalkan untuk menyokong pelaksanaan amalan penuaian air hujan termasuk Panduan Reka Bentuk Sistem Penuaian Air Hujan (SPAH), *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia* (MSMA) edisi kedua dan *Rainwater Harvesting Guidebook* (Department of Irrigation and Drainage Malaysia, 2012, 2017; Public Works Department, 2012).

Seiring dengan perkembangan dalam usaha pemerkasaan penuaian air hujan, ia dilihat berupaya menyelesaikan beberapa permasalahan utama yang berlaku di universiti khususnya di kolej-kolej kediaman pelajar seperti peningkatan permintaan air yang telah membebankan bekalan air terawat yang sedia ada. Masalah ini berlaku disebabkan oleh peningkatan jumlah pelajar berikutan pertambahan akses kemasukan pelajar ke institusi pengajian tinggi seperti yang termaktub dalam lima aspirasi yang digariskan dalam Pelan Tindakan Pendidikan Tinggi

Malaysia 2022-2025 (Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia, 2022). Bagi Universiti Kebangsaan Malaysia sahaja, enrolmen pelajar dari tahun 2015 sehingga tahun 2023, UKM mengalami peningkatan dari 28,206 orang pelajar pada tahun 2015 kepada 42,241 orang pelajar pada tahun 2023 (Jabatan Pendaftar UKM, 2015, 2023). Di samping peningkatan terhadap permintaan air, pertambahan jumlah pelajar juga akan menjurus kepada penghasilan air kelabu (*greywater*) yang tinggi khususnya di kolej-kolej kediaman pelajar. Semakin meningkat jumlah pelajar, semakin meningkat jumlah aktiviti yang melibatkan penggunaan air seperti mandi dan mencuci pakaian yang menyebabkan penghasilan air kelabu yang tinggi. Oleh sebab itu, air kelabu merupakan sebahagian besar daripada air sisa iaitu sekitar 50 sehingga 80 peratus (Filali et al., 2022). Justeru, penghasilan air kelabu yang tinggi memberikan isyarat bahawa penggunaan air bagi tujuan bukan minuman di kolej kediaman pelajar adalah signifikan. Oleh yang demikian, sistem penuaian air hujan merupakan langkah dan kaedah terbaik dalam memastikan penggunaan air bagi tujuan yang tidak produktif dapat diatasi melalui tuaian hujan (Das et al., 2024; Nor Hafizi et al., 2018).

Kajian ini bertujuan menilai tren hujan 2009–2024 dan menganggarkan potensi tuaian air hujan di Kolej Keris Mas melalui integrasi UAV, ArcGIS Pro dan Kaedah Rasional Terubahsuai. Walaupun kajian berkenaan penuaian air hujan telah dijalankan di beberapa universiti di Malaysia (seperti di UTHM dan UTM), namun penilaian potensi penuaian air hujan secara khusus di kolej kediaman dengan integrasi UAV–GIS masih kurang diberi perhatian. Tambahan pula, kajian terdahulu berkaitan penuaian air hujan di Institusi Pengajian Tinggi (IPT) masih kurang dilakukan oleh pengkaji terdahulu (Shaferi et al., 2025). Selain itu, tiada kajian terdahulu yang meneliti Kolej Keris Mas secara komprehensif walaupun kawasan ini memiliki bumbung luas dan populasi pelajar yang tinggi.

Kajian literatur

Kaedah penuaian hujan di IPT

Berdasarkan kajian terdahulu, SPAH di IPT Malaysia mahupun di luar negara lazimnya tertumpu kepada pelaksanaannya pada skala bangunan tunggal atau blok terpilih sahaja seperti bangunan fakulti dan kolej kediaman pelajar. SPAH dibangunkan dengan tujuan memenuhi kegunaan bukan minuman (*non-potable usage*) seperti pengairan landskap, pencucian kenderaan dan sistem tangki simbah tandas. Sebagaimana kajian oleh Musa et al. (2022) dan Mostaffa et al. (2021) yang masing-masing memberi tumpuan kepada SPAH berskala kecil serta penekanan terhadap reka bentuk estetik dan kompak. Pendekatan serupa turut dikenal pasti dalam beberapa kajian lain di mana kajian SPAH menekankan aspek reka bentuk fizikal dan teknikal sistem, namun, tidak diselarikan secara menyeluruh dengan perancangan jangka panjang atau pelan strategik kelestarian sesebuah universiti seperti kajian Almeida et al. (2023) dan Tsai et al. (2024). Justeru, kajian ini berusaha untuk mengembangkan skop pelaksanaan SPAH dari penelitian pada sebuah blok tunggal kepada skop yang lebih besar iaitu satu kolej kediaman pelajar yang berskala besar.

Kaedah penilaian potensi SPAH

Salah satu komponen terpenting dalam penilaian potensi Sistem Penuaian Air Hujan (SPAH) ialah pengiraan keluasan kawasan tadahan hujan (A) yang tepat, memandangkan parameter ini memberi pengaruh langsung terhadap anggaran isi padu tuaian dalam Kaedah Rasional Terubahsuai. Kaedah Rasional Terubahsuai telah digunakan secara meluas dalam kajian terdahulu sebagai pendekatan yang praktikal untuk meramal potensi tuaian hujan berdasarkan

interaksi antara taburan hujan, kawasan tadahan dan pekali larian (Goh & Ideris, 2021). Walaupun kajian oleh Meskele et al. (2024) dan Nanteza et al. (2022) telah memanfaatkan Sistem Maklumat Geografi (GIS) bagi menganggar keluasan kawasan bumbung, penentuan parameter kawasan tadahan tersebut masih bergantung kepada data pelan bangunan atau imej satelit resolusi sederhana. Ketiadaan penggunaan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dalam kajian-kajian ini berpotensi menghadkan ketepatan ortofoto dan seterusnya menjejaskan ketepatan anggaran kawasan tadahan hujan. Oleh itu, penggunaan UAV dalam kajian ini membolehkan pengukuran kawasan bumbung dilakukan dengan lebih terperinci dan tepat, sekali gus meningkatkan kebolehpercayaan anggaran potensi tuaian hujan dan menjadikan penilaian yang dijalankan lebih komprehensif berbanding kajian terdahulu.

Keberkesanan SPAH di IPT

Penyelidikan di Malaysia umumnya menunjukkan bahawa air tuaian daripada SPAH masih dinilai keberkesannya terutamanya sebagai sumber bagi kegunaan bukan minuman (non-potable usage). Secara lazimnya, kategori ini merangkumi penggunaan untuk tangki simbah tandas, pengairan landskap, pertanian pintar serta pembersihan awam, yang dinilai berdasarkan keupayaan mengurangkan kebergantungan kepada air terawat, sebagaimana ditunjukkan dalam kajian Uddin et al. (2024) dan Muhammad Izzuddin et al. (2023). Walau bagaimanapun, penilaian keberkesanan SPAH dalam konteks tempatan masih terhad kepada fungsi operasi asas, dengan penekanan yang minimum terhadap impak penjimatan air jangka panjang atau sumbangan kepada kelestarian kampus secara menyeluruh.

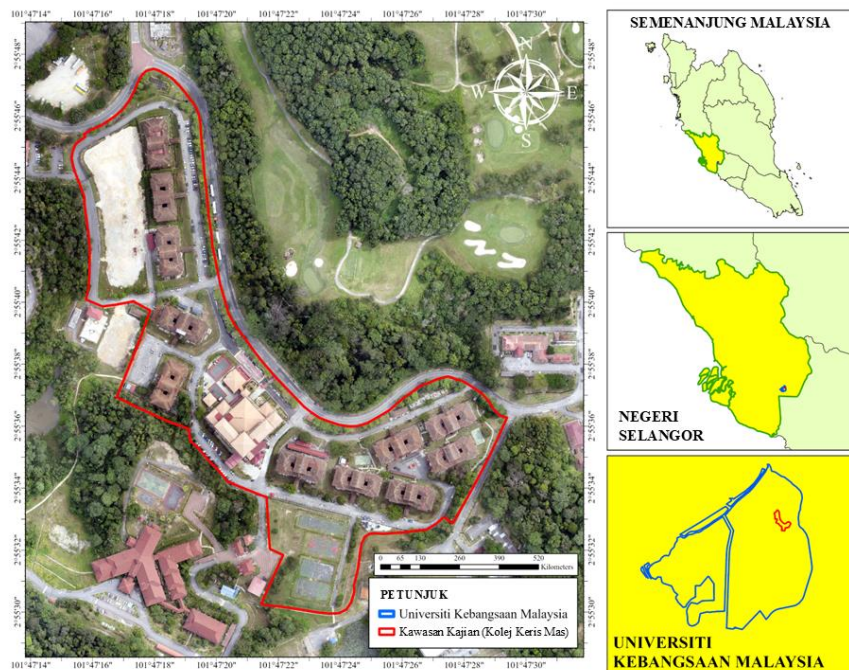
Sebaliknya, di luar negara, keberkesanan SPAH di kampus universiti telah dibuktikan melalui pelbagai indikator kuantitatif dan fungsi sokongan, selari dengan matlamat kelestarian institusi. Sebagai contoh, di Polytechnic University of Bragança (IPB), Portugal, penggunaan air hujan bagi tangki simbah tandas sebagai pengganti air terawat telah membuktikan penjimatan penggunaan air sehingga 23.17%, sekali gus menunjukkan keberkesanan SPAH dalam mengurangkan permintaan air terawat (Antão-Geraldes et al., 2024). Di Universitas Islam Riau (UIR), Indonesia pula, SPAH bukan sahaja berfungsi sebagai sumber air alternatif, malah keberkesannya diperluaskan melalui peranannya sebagai komponen Pengurusan Air Ribut (Stormwater Management) yang menyokong sistem perparitan dan saliran kampus (Bismi Annisa, 2024). Perbezaan pendekatan ini menonjolkan bahawa keberkesanan SPAH di IPT luar negara dinilai secara lebih holistik, sekali gus menunjukkan potensi besar untuk memperkukuh penilaian keberkesanan SPAH di kampus universiti di Malaysia.

Kawasan dan kaedah kajian

Kawasan kajian

Kolej Keris Mas terletak di koordinat 2°55'36.51"N dan 101°47'20.94"E pada ketinggian 51 meter dari aras laut. Ia merupakan salah sebuah kolej terbesar di kampus tersebut dan menempatkan sebuah blok pentadbiran enam tingkat dan 11 buah blok kediaman enam tingkat. Satu dari blok tersebut menempatkan Pusat Kajian Bencana Asia Tenggara (SEADPRI) manakala selebihnya berfungsi sebagai blok kediaman pelajar. Blok pentadbiran pula menempatkan kafeteria, pejabat pengurusan kolej kediaman dan pejabat Institut Kajian Etnik (KITA) serta pusat kemudahan pelajar. Berdekatan dengan blok pentadbiran, terdapat sebuah bangunan yang berfungsi sebagai surau dan ia dilengkapi dengan kemudahan dobi yang digunakan secara harian oleh pelajar serta sebahagian warga UKM. Kolej ini yang secara

rasminya beroperasi sepenuhnya di bawah pengurusan UKM pada tahun 2000 kini berupaya menempatkan sehingga 2,000 orang pelajar (Kolej Keris Mas, 2025).



Rajah 1. Peta kawasan Kolej Keris Mas

Kaedah kajian

Bagi menganalisis keupayaan atau potensi SPAH di sekitar Kolej Keris Mas, persamaan Kaedah Rasional Terubahsuai (*Modified Rational Method*) digunakan untuk menganggarkan jumlah tuaian air hujan per bulan iaitu nilai R_i . Persamaan Kaedah Rasional Terubahsuai yang diadaptasi dalam kajian Goh dan Ideris (2021), Khastagir dan Jayasuriya (2010) dan Mitchell (2007) merupakan satu kaedah pengiraan anggaran tuaian hujan yang biasa digunakan dalam menganalisis skala kawasan yang kecil serta jenis permukaan bumbung yang berbeza. Bagi mendapatkan kadar jumlah air hujan yang boleh dituai, maklumat seperti hujan, nilai koefisien permukaan bumbung serta keluasan bumbung diperlukan untuk menganggarkan kadar air hujan yang boleh dikumpul apabila berlaku hujan (Ozeren Alkan & Hepcan, 2022). Persamaan Kaedah Rasional Terubahsuai ditunjukkan dalam Persamaan (1).

$$R_i = P_i \times C \times A \quad (1)$$

Di mana,

R_i = Jumlah tuaian hujan per bulan (m^3/m)

P_i = Purata Kedalaman hujan (mm)

C = Nilai koefisien permukaan bumbung

A = Keluasan bumbung (m^2)

a. Analisis hujan (P_i)

Kajian ini dilakukan menggunakan sumber data yang diambil daripada lapangan, kajian desktop serta data yang diperoleh daripada agensi Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). Data yang diambil daripada lapangan adalah melalui pemerhatian dan pengesahan jenis bumbung yang terdapat di sekitar Kolej Keris Mas. Kemudian, analisis purata hujan bulanan bagi tempoh

16 tahun bermula tahun 2009 hingga 2024 di stesen Bandar Rinching (ID Stesen: 2918101) dianalisis untuk menilai tren hujan yang berlaku di sekitar KKM. Penggunaan data hujan dari stesen Bandar Rinching dilakukan kerana ketiadaan stesen hujan di kawasan UKM dan Kolej Keris Mas serta stesen tersebut terletak paling hampir dengan kolej tersebut berbanding stesen hujan lainnya. Proses pembersihan data dilakukan untuk memastikan tiada kehilangan data hujan berlaku sehingga menyebabkan ralat pada analisis berikutnya. Seterusnya, trend hujan bulanan dianalisis menggunakan Ujian Mann-Kendall. Hujan bulanan digunakan dalam analisis hujan kerana ia mampu memberi gambaran yang lebih tepat tentang kebolehpercayaan SPAH untuk tempoh jangka masa panjang di samping mengetahui kecukupan tangki simpanan sistem walaupun ia tidak diulas dalam kajian ini (Haider et al., 2023; Imteaz et al., 2024).

b. Nilai koefisien permukaan bumbung (C)

Bagi menentukan nilai koefisien permukaan bumbung, jenis permukaan bumbung perlu ditentukan terlebih dahulu. Oleh itu, satu pemerhatian di lapangan dilakukan untuk mengenal pasti jenis bumbung yang terdapat di kawasan kajian. Koefisien permukaan bumbung ialah satu nilai pekali yang menunjukkan keberkesanan sesuatu jenis bumbung dalam mengalirkan air hujan untuk dikumpul (Ministry of Housing Transport and Environment Maldives, 2009). Semakin licin dan kedap bahan bumbung, semakin tinggi nilai koefisiennya kerana kurang kehilangan air akibat penyerapan, penyejatan atau takungan pada permukaan. Penentuan nilai koefisien permukaan bumbung dilakukan berdasarkan kepada Garis Panduan German FLL's melalui beberapa ujian makmal serta pengaplikasian Persamaan (2) (Schärer et al., 2020).

$$C = \frac{R}{V} \quad (1)$$

Di mana,

C = Nilai koefisien permukaan bumbung

R = Isi padu air larian permukaan dalam satu tempoh kejadian hujan (Liter)

V = Isi padu air hujan yang jatuh ke atas kawasan bumbung dalam satu tempoh kejadian hujan (Liter)

Walaupun bagaimanapun, penentuan nilai koefisien dalam kajian ini telah dipermudahkan berdasarkan nilai koefisien permukaan bumbung di Jadual 1. Penentuan berdasarkan jadual ini dilakukan dalam beberapa kajian lepas seperti Rashid et al. (2025), Ozeren Alkan dan Hepcan (2022) dan Ugai (2016).

Jadual 1. Nilai koefisien permukaan bumbung berdasarkan jenis permukaan bumbung

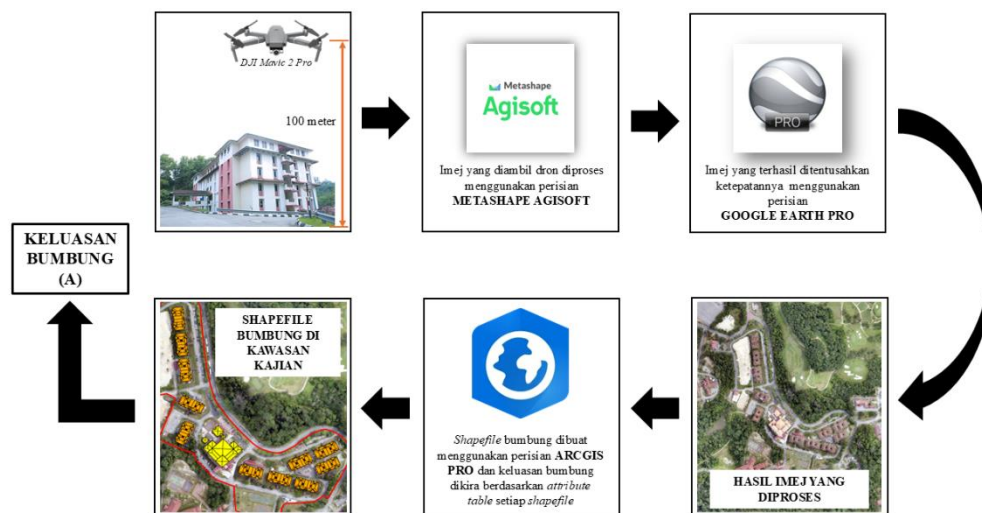
Jenis permukaan bumbung	Nilai koefisien permukaan bumbung
Asbestos	0.85
Simen / Konkrit	0.70
Jubin	0.80 – 0.90
Lembaran Keluli bergalvani	0.90 – 0.95
Bata / Tanah Liat	0.75
Logam	0.90
Lembaran Logam Beralun	0.70 – 0.90
PVC	0.98
Tanah	0.00 – 0.30
Bumbung Hijau (Green Roof)	0.05 – 0.10

Sumber: Ozeren Alkan & Hepcan, 2022

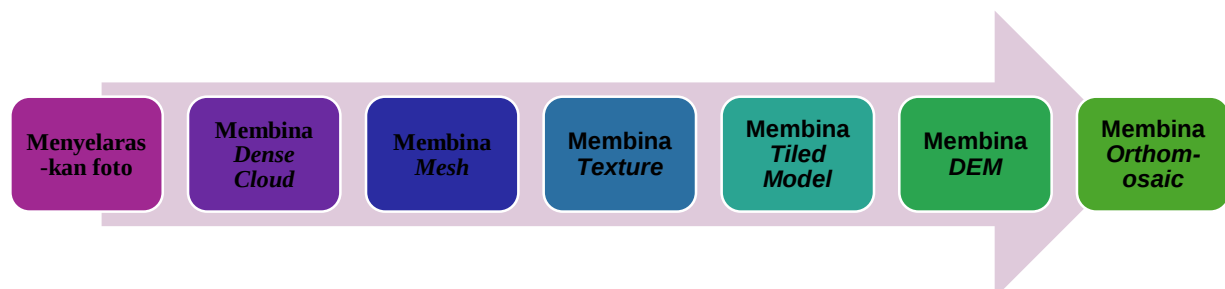
c. Analisis keluasan bumbung (A)

Bagi menganalisis keluasan bumbung di Kolej Keris Mas, imej kawasan kajian diperlukan dan diperoleh melalui proses seperti dalam Rajah 2. Proses pengambilan imej kawasan kajian dilakukan dengan menerbangkan dron model DJI Mavic 2 Pro sehingga ketinggian 100 meter dari daratan. Ketinggian ini ditentukan berdasarkan ketinggian maksimum bangunan, pokok atau mana-mana objek di kawasan kajian agar dron tidak melanggar objek-objek berkenaan. Penerbangan dron ini mengambil masa kira-kira 38 minit untuk kawasan kajian yang berkeluasan 0.046 km². Kira-kira 160 imej dengan *Ground Sample Distance* (GSD) 2.49cm/px berjaya diambil bagi kawasan kajian. Imej-imej yang berjaya diambil akan dimuat naik ke perisian Metashape Agisoft untuk diproses dan dicantumkan menjadi satu ortofoto (Rajah 3).

Imej atau ortofoto yang dihasilkan perlu mempunyai ketepatan yang baik untuk mengurangkan ralat ketika pengiraan keluasan dilakukan. Oleh sebab itu, penentusahan dilakukan dengan menggunakan perisian Google Earth Pro sebagaimana yang dilakukan dalam kajian terdahulu seperti Iheaturu et al. (2024) dan Korumaz dan Yıldız (2021). Kemudian, menggunakan imej yang telah ditentusahkan, shapefile akan dibina mengikut bentuk bumbung yang terdapat di kawasan kajian menggunakan perisian ArcGIS Pro dan untuk mengenal pasti keluasan kawasan tadahan SPAH seperti mana yang telah diaplikasikan dalam kajian terdahulu oleh Nanteza et al. (2022) dan Meskele et al. (2024), nilai keluasan setiap *shapefile* akan diperoleh daripada *attribute table*.



Rajah 2. Proses menghasilkan imej kawasan kajian dan pengiraan keluasan bumbung



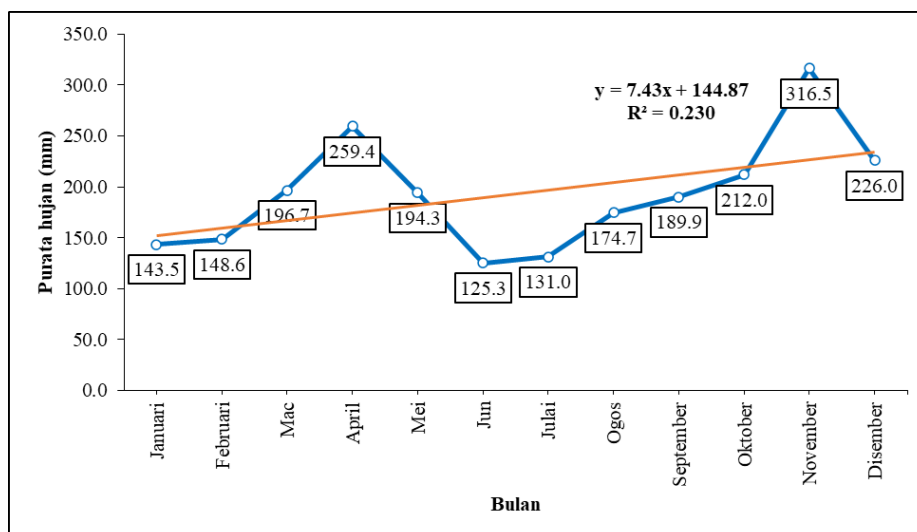
Rajah 3. Urutan kerja proses membina ortofo/imej kawasan kajian di perisian Metashape Agisoft

Hasil dan perbincangan

Hasil kajian

a. Analisis hujan (Pi)

Data hujan bulanan bagi tempoh masa 16 tahun bermula 2009 sehingga tahun 2024 dianalisis untuk menilai tren kadar purata hujan bulanan yang terjadi di sekitar kawasan Kolej Keris Mas. Kadar purata hujan bulanan dikira untuk mengenal pasti tren hujan yang berlaku di kawasan Kolej Keris Mas sama ada tren hujan signifikan atau tidak. Tren hujan yang signifikan menunjukkan kadar hujan yang meningkat manakala tren hujan yang tidak signifikan menunjukkan jumlah hujan yang semakin menurun. Hasil analisis mendapati tren hujan yang berlaku di kawasan Kolej Keris Mas menunjukkan nilai yang signifikan dengan garisan regresi mencatatkan bacaan $R^2 = 0.203$ (Rajah 4). Walau bagaimanapun, ujian Mann-Kendall mendapati bahawa trend tersebut adalah tidak signifikan dengan nilai p bersamaan dengan 0.114, di mana $p > 0.05$ gagal menolak hipotesis null (H_0) yang membawa makna tiada trend yang signifikan secara statistik dikenal pasti. Justeru, trend hujan sedemikian menunjukkan bahawa rejim hujan di kawasan kajian adalah stabil secara relatifnya tanpa perubahan monotonik yang ketara sekali gus menjadi isyarat yang baik kepada penuaian air hujan (Tossou et al., 2021).

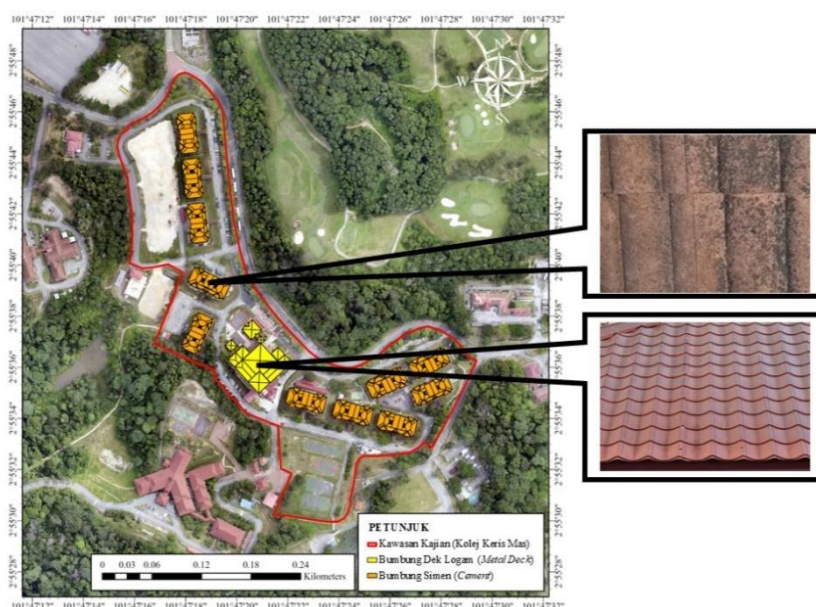


Rajah 4. Tren purata hujan bulanan di stesen hujan Bandar Rinching dari tahun 2009 sehingga tahun 2024

Nilai R^2 menunjukkan trend purata hujan bulanan telah meningkat bagi tempoh 16 tahun. Peningkatan ini menunjukkan suatu petanda yang baik dalam membina SPAH di Kolej Keris Mas sebagai langkah alternatif dalam menjimatkan penggunaan air terawat. Kadar hujan yang meningkat khususnya pada musim monsun dan peralihan monsun menunjukkan sumber air alternatif iaitu hujan dapat dimanfaatkan secara optimum bagi kegunaan luaran dan harian di Kolej Keris Mas. SPAH yang biasa diaplikasikan di sesuatu tempat memerlukan pola dan tren taburan hujan yang konsisten dan meningkat setiap tahun bagi memastikan bekalan dan simpanan air sentiasa mencukupi untuk digunakan (Wan Zin & Jemain, 2008).

b. Jenis kawasan tadahan hujan dan nilai koefisien (C)

Penilaian potensi SPAH mengambil kira maklumat penting dalam menganggarkan kadar penuaian air hujan iaitu jenis kawasan tadahan hujan yang terdapat di sekitar kawasan kolej. Rajah 5 menunjukkan peta jenis bumbung bagi bangunan blok yang terdapat di sekitar kawasan Kolej Keris Mas yang telah menjadi fokus dalam kawasan tadahan hujan SPAH. Hasil pemetaan tersebut mendapati dua jenis bumbung iaitu jenis bumbung dek logam (*metal deck roof*) dan jenis bumbung genting simen (*cement roof*). Kedua-dua jenis bumbung tersebut masing-masing mempunyai nilai koefisien (C) penghasilan air tuaian sebanyak 0.90 bagi bumbung jenis dek logam dan 0.70 bagi jenis simen. Hal ini bermaksud 90 peratus daripada air hujan yang jatuh ke atas bumbung jenis dek logam berpotensi menjadi air tuaian manakala bumbung jenis simen pula, sebanyak 70 peratus daripada hujan yang jatuh ke atasnya berpotensi membentuk air tuaian. Faktor kekasaran permukaan bumbung merupakan indikator penting dalam menentukan hasil tuaian air hujan (Nur Syarina et al., 2017), Perbezaan pada jenis bahan binaan bumbung menunjukkan perbezaan terhadap kadar air yang boleh dituai (Farreny et al., 2011). Permukaan bumbung yang licin menunjukkan potensi yang tinggi dalam mengaplikasikan SPAH di Kolej Keris Mas. Dalam pada itu, proses penukaran bumbung jenis simen kepada dek logam yang berlaku di kolej tersebut merupakan langkah positif dalam memperkasakan amalan SPAH di universiti.



Rajah 5. Jenis bumbung di Kolej Keris Mas

c. Keluasan kawasan tadahan hujan (A)

Selepas jenis bumbung, keluasan (A) bagi setiap jenis bumbung diperlukan dalam menganggarkan kadar air yang boleh dituai di Kolej Keris Mas. Seterusnya, Jadual 3 menunjukkan jumlah keluasan bumbung yang dianalisis menggunakan aplikasi ArcGIS Pro. Secara keseluruhannya, Kolej Keris Mas mempunyai 11 buah blok yang mempunyai bumbung simen manakala satu buah blok sahaja yang menggunakan bumbung dek logam. Blok yang berbumbung jenis simen mempunyai keluasan seluas 978 m² manakala untuk blok yang berbumbung dek logam, keluasannya ialah 3,043 m². Oleh itu, jumlah keluasan bumbung yang berpotensi untuk SPAH adalah sebesar 13,801 km² dengan jumlah keluasan bumbung jenis simen ialah 10,758 m² manakala jumlah keluasan bumbung dek logam ialah 3043 m². Hasil

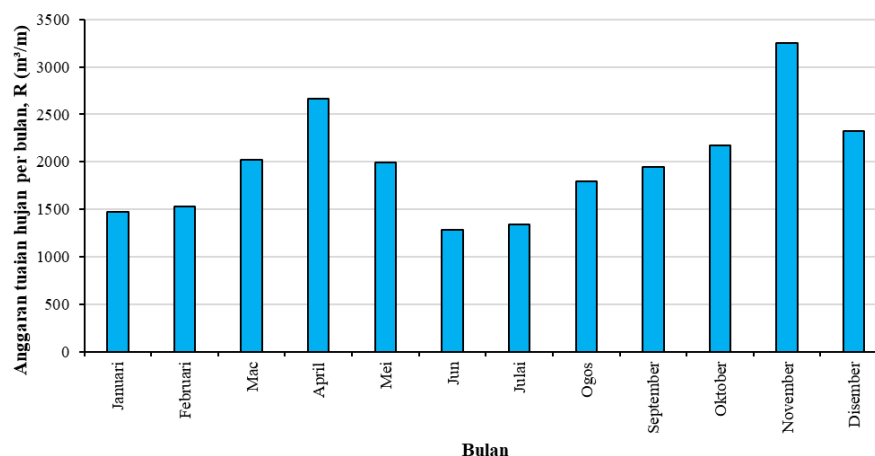
mendapati bahawa jenis dan keluasan bumbung yang terdapat di sekitar KKM berpotensi untuk dijadikan kawasan tadahan air hujan sebagai sumber air alternatif.

Jadual 3. Keluasan permukaan bumbung bangunan di Kolej Keris Mas

Jenis bumbung	Bil	A bagi sebuah blok (m ²)	Jumlah A (m ²)
Bumbung Dek logam (<i>Metal Deck Roof</i>)	1	3,043	3,043
Bumbung Genting Simen (<i>Cement Roof</i>)	11	978	10,758
Jumlah keluasan			13,801

d. Kadar air tuaian hujan (R_i)

Jumlah air tuaian yang boleh dikira menggunakan persamaan yang ditunjukkan dalam Persamaan 1 pada bahagian kaedah kajian. Hasil analisis jumlah hujan yang boleh dituai bagi setiap bulan ditunjukkan dalam Rajah 6. Secara keseluruhannya, jumlah tuaian hujan yang boleh dikumpulkan adalah antara 1,995.32 m³ hingga 3,250.23 m³. Bulan Jun dan Julai merupakan dua bulan yang mencatatkan kadar penuaian hujan yang rendah berbanding bulan-bulan lainnya. Hal ini disebabkan oleh fenomena Monsun Barat Daya yang berlaku di sekitar negeri Selangor menyebabkan kawasan Kolej Keris Mas menerima kadar hujan yang paling minimum. Selain daripada dua bulan tersebut, kadar tuaian hujan yang terhasil adalah amat memberangsangkan dan menjadikan sistem SPAH ini amat relevan untuk diaplikasikan di kawasan kolej tersebut. Jumlah tuaian air hujan yang paling tinggi dan konsisten diterima pada musim Monsun Timur Laut di mana kawasan Kolej Keris Mas menerima jumlah hujan yang tinggi. Selain itu, dapat disimpulkan juga bahawa dalam tempoh setahun, penggunaan air di Kolej Keris Mas akan meningkat apabila kejadian musim kering iaitu pada bulan Jun dan Julai. Manakala, pada bulan-bulan lainnya Kolej Keris Mas dapat mengurangkan kadar penggunaan air terawat dengan adanya sumber air alternatif yang dituai di setiap blok.



Rajah 6. Anggaran jumlah tuaian hujan per bulan di Kolej Keris Mas

Perbincangan

Tren dan corak hujan di kawasan kajian adalah tidak terlalu berbeza dengan kawasan kajian menunjukkan bahawa SPAH berpotensi diperluaskan ke seluruh kampus UKM Bangi. Hal ini

terbukti mempunyai potensi dilaksanakan kerana empat premis di dalam kampus sudah sekian lama mengimplementasikan sistem berkenaan (Universiti Kebangsaan Malaysia, 2025). Di samping itu, peluasan SPAH ke seluruh kampus UKM dapat meletakkan universiti ini di atas landasan yang betul dalam mencapai aspirasi yang digariskan dalam Pelan Strategik Kelestarian UKM 2023 khususnya pelaksanaan Teras Kelestarian Keempat iaitu Kampus Lestari (UKM Strategy Center, 2022). Teras Kampus Lestari menggariskan sembilan objektif yang perlu dicapai UKM menjelang tahun 2023 (Rajah 7). Sehubungan dengan itu, UKM berpotensi mencapai sebahagian objektif tersebut jika SPAH dilaksanakan di seluruh kawasan kampus.



Sumber: UKM Strategy Center, 2022

Rajah 7. Sembilan objektif Teras Kampus Lestari dalam Pelan Strategik Kelestarian UKM 2023

a. Mempelbagaikan penggunaan sumber air

Di samping memanfaatkan sumber terawat yang dibekalkan oleh Air Selangor, pelaksanaan SPAH dipercayai dapat mempelbagaikan penggunaan sumber air di kampus UKM. Berdasarkan dapatan kajian ini, potensi tuaian air hujan bulanan yang dianggarkan menunjukkan bahawa SPAH masih berupaya membekalkan isipadu air yang bermakna walaupun semasa bulan-bulan kering seperti Jun dan Julai. Walaupun SPAH belum berupaya menjadi bekalan air bagi keseluruhan aktiviti seharian, namun, ia mampu memberi manfaat kepada kegunaan selain daripada tujuan minuman seperti pembersihan awam, pengairan landskap dan kegunaan tandas terutamanya apabila mengambil kira ketidakseimbangan taburan hujan tahunan yang menunjukkan sumbangan hujan yang lebih tinggi pada bulan-bulan tertentu berbanding bulan kering. Selain itu, SPAH sekurang-kurangnya menyediakan air ketika bekalan air terawat menghadapi tekanan akibat pertambahan jumlah pelajar atau ketika bekalan air terputus untuk satu tempoh tertentu. Penyasaran 12 buah kolej kediaman pelajar di dalam kampus UKM untuk melaksanakan inisiatif SPAH dilihat sebagai satu strategi serampang dua mata yang efektif di mana ia bukan sahaja menyediakan sumber air alternatif untuk kegunaan warga kampus tetapi juga membantu UKM mencapai sasaran yang ditetapkan dalam teras keempat iaitu sekurang-kurangnya lima pusat tanggungjawab melaksanakan program penggunaan sumber air alternatif.

b. Mengoptimumkan penggunaan air dan mengurangkan kadar pencemaran

SPAH diiktiraf sebagai salah satu daripada Amalan Pengurusan Terbaik kerana ia merupakan pendekatan yang mampan dalam pengurusan sumber air. Oleh sebab itu, sistem ini berupaya untuk mengoptimumkan penggunaan air di UKM dengan mengurangkan kebergantungan warga kampus terhadap penggunaan bekalan air terawat khususnya bagi kegunaan bukan minum. Sehubungan dengan itu, pihak universiti khususnya melalui pengurusan tertinggi universiti wajar mengambil kira pembangunan SPAH sebagai sebahagian komponen dalam perangkaan dasar penggunaan dan penjimatan air kampus. Pemerkasaan SPAH melalui dasar atau polisi rasmi universiti ialah langkah yang strategik kerana dasar bertindak sebagai rujukan utama kepada seluruh Pusat Tanggungjawab di universiti. Melalui cara ini, SPAH dapat diimplementasikan secara rasmi, konsisten dan menyeluruh melalui pematuhan warga kampus terhadap dasar universiti. Oliveira and Proença (2025) mendapati bahawa institusi pengajian tinggi dengan kepimpinan dan dasar rasmi keberkesanannya dalam amalan operasi lestari, termasuk pengurusan air adalah lebih tinggi.

c. Membangunkan tenaga mampu milik

Proses rawatan dan agihan air terawat ke kampus UKM merupakan satu proses yang menggunakan tenaga yang besar dan intensif. Oleh sebab itu, sistem ini secara tidak langsung menyokong penjimatan tenaga dengan mengurangkan penggunaan tenaga yang berkaitan dengan rawatan dan agihan air terawat ke seluruh kampus. Namun begitu, seiring dengan kemajuan teknologi maklumat seperti *Internet of Things* (IoT), SPAH tidak lagi dilihat sebagai pembekal sumber air alternatif semata-mata, tetapi ia telah dikembangkan sebagai satu bentuk penjana tenaga yang sangat berguna. Kajian Abdul Rani et al. (2024) mendapati bahawa SPAH berpotensi menjana tenaga elektrik. Penjanaan tenaga elektrik melalui SPAH amat bergantung pada saiz tangki simpanan dan tekanan air daripada sistem tersebut yang secara tidak langsung disokong oleh dapatan kajian ini melalui julat isipadu tuaian bulanan yang menunjukkan potensi simpanan air yang mencukupi untuk menghasilkan tekanan hidraulik asas. Sehubungan dengan itu, adalah tidak mustahil jika pada masa akan datang, SPAH dapat dibangunkan sebagai penjana tenaga elektrik memandangkan trend hujan setempat yang dianalisis didapati tidak signifikan secara statistik dan mencerminkan kestabilan rejim hujan jangka panjang. Justeru, peluang ini dapat diambil oleh UKM untuk mencapai sasaran dalam membangunkan tenaga mampu milik di kampus berkenaan.

d. Menerapkan kelestarian dalam pembangunan fizikal

UKM sentiasa aktif dalam membangunkan persekitaran kampusnya. Sehubungan dengan itu, UKM perlu mengambil peluang yang ada untuk mengintegrasikan SPAH dalam pembangunan kampus khususnya dalam konteks pembangunan fizikal. Berdasarkan hasil kajian ini, potensi tuaian air hujan yang dianggarkan menunjukkan bahawa SPAH berupaya menjana isipadu air antara 1000 m³ hingga 3000 m³ sebulan, bergantung kepada variasi taburan hujan bulanan serta keluasan bumbung yang tersedia. Antara langkah signifikan yang boleh dilakukan oleh UKM adalah dengan memastikan pembinaan kompleks atau premis baharu di dalam kampus pada masa akan datang diintegrasikan dengan SPAH. Justeru, penerapan SPAH pada binaan baharu adalah lebih efektif dan mesra ekonomi berbanding mengaplikasikannya pada bangunan yang sedia ada (Del Borghi et al., 2021). Pembinaan SPAH pada bangunan baharu mampu memberikan manfaat yang maksimum di samping mampu mengurangkan kos pelaksanaannya (Del Borghi et al., 2021; Nor Hafizi et al., 2018). Tambahan pula, pelaksanaan SPAH pada bangunan yang baru dibina mampu memberi pulangan pelaburan yang lebih tinggi berbanding

pemasangannya di bangunan yang lama. Justeru, ini merupakan peluang yang baik untuk UKM menerapkan elemen kelestarian dalam pembangunan fizikal pada masa akan datang.

e. Batasan kajian

Beberapa kekangan dikenal pasti dalam kajian ini. Antara kekangan utama yang dihadapi ialah ketiadaan data hujan sebenar yang boleh mewakili hujan di kawasan kajian. Walaupun pemerolehan data hujan dari stesen hujan terdekat dengan kawasan kajian adalah amalan lazim dalam kajian hidrologi, ia mungkin tidak dapat memberi gambaran sebenar terhadap keadaan hujan di kawasan kajian. Justeru, kajian pada masa hadapan memerlukan analisis seperti Poligon Thiessen untuk meminimumkan ralat yang berlaku dalam proses analisis hujan. Di samping itu, penentuan nilai C perlu ditambah baik melalui pengintegrasian proses verifikasi di lapangan dengan mengambil kira kecerun bumbung dan usia struktur bangunan yang mempengaruhi potensi tuaian di kawasan kajian. Selain itu, penggunaan imej UAV perlu mengambil kira *Ground Control Points* (GCP) untuk mendapatkan ketepatan ortofoto. Walau bagaimanapun, kaedah yang digunakan dalam kajian ini masih memberikan keluasan bumbung yang lebih tepat berbanding kaedah konvensional yang menggunakan pelan bangunan atau imej satelit beresolusi sederhana. Secara keseluruhannya, walaupun terdapat beberapa kekangan metodologi, pendekatan yang digunakan masih memadai dan bersesuaian untuk kajian penilaian potensi SPAH serta tidak menjejaskan kesahan dapatan utama kajian.

Kesimpulan

Sistem Penuaian Air Hujan (SPAH) merupakan satu sistem yang amat sesuai dan berpotensi dibangunkan di Kolej Keris Mas. Keluasan kawasan tadahan yang besar iaitu sekitar 13,801 m² serta pola dan taburan hujan yang sekata setiap bulan mampu membekalkan kira-kira 1,000 m³ sehingga 3000 m³ sumber air alternatif setahun untuk Kolej Keris Mas seterusnya menjadikan sistem SPAH ini mampu bertahan dalam tempoh masa yang panjang. Sistem ini bukan saja melestarikan alam sekitar malah sistem ini dapat menjimatkan penggunaan air terawat yang dewasa ini menjadi satu cabaran utama negara untuk memastikan kecukupannya pada masa akan datang. Walau bagaimanapun, tanpa simulasi menggunakan modelimbangan air harian seperti *Yield-After-Spillage* (YAS) dan Tangki NAHRIM 2.0, keupayaan sebenar SPAH belum dapat diputuskan sepenuhnya. Oleh sebab itu, penyelidikan pada masa hadapan perlu menekankan simulasi kebolehpayaan SPAH supaya pemilihan saiz tangki atau simpanan yang sesuai dapat dilakukan bagi memastikan bekalan air dapat bertahan terutamanya apabila berhadapan dengan cuaca kering atau penggunaan air yang berlebihan. Seterusnya, amalan SPAH ini juga amat jelas menyokong *The 2030 Agenda for Sustainable Development* atau Matlamat Pembangunan Mampan (SDG) iaitu SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi), SDG 9 (Industri, Inovasi dan Infrastruktur), SDG 11 (Bandar dan Komuniti Mampan) serta SDG 13 (Tindakan Memerangi Perubahan Iklim).

Rujukan

- Abdul Rani, R., Mahmor, N., Md Posdzi, N., & Mohd Sariff, M. A. I. (2024). Develop a technique for producing electricity by harvesting rain water and IoT monitoring. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 127(1), 155–162.
- Abo-Khalil, A. G. (2024). Integrating sustainability into higher education challenges and opportunities for universities worldwide. *Heliyon*, 10(9), e29946.

- Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2023). Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *Science of the Total Environment*, 887, 163719.
- Anh, N. T., Can, L. D., Nhan, N. T., Schmalz, B., & Luu, T. L. (2023). Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100424.
- Antão-Geraldes, A. M., Ohara, G., Afonso, M. J., Albuquerque, A., & Silva, F. (2024). Towards sustainable water use in two university student residences: A case study. *Applied Sciences*, 14(17), 7559.
- Annisa, B., & Maknun, I. J. (2024). Modeling of storm water management to synergize Sustainable Development Goals 6, 9, and 11 framework. *International Journal of Technology(IJTech)*, 15(2), 299–309.
- Das, M., Behera, S., Rath, A., Pranati, M., Brajendra, K., & Mishra, (2024). Rainwater harvesting for water conservation for utilisation of water for various purposes. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 18(4), 9–12.
- Del Borghi, A., Spiegelhalter, T., Moreschi, L., & Gallo, M. (2021). Carbon-neutral-campus building: Design versus retrofitting of two university zero energy buildings in Europe and in the United States. *Sustainability*, 13(16), 9023.
- Department of Irrigation and Drainage Malaysia. (2012). Urban Stormwater Management Manual for Malaysia.
- Department of Irrigation and Drainage Malaysia. (2017). Rainwater Harvesting Guidebook.
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10), 3245–3254.
- Filali, H., Barsan, N., Souguir, D., Nedeff, V., Tomozei, C., & Hachicha, M. (2022). Greywater as an alternative solution for a sustainable management of water resources-A review. *Sustainability*, 14(2), 665.
- García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*, 18, 101153.
- Goh, Y. C., & Ideris, M. (2021). Tangki NAHRIM 2.0: an R-based water balance model for rainwater harvesting tank sizing application. *Water Practice and Technology*, 16(1), 182–195.
- Haider, S., Masood, M. U., Rashid, M., Ali, T., Pande, C. B., Alshehri, F., & Elkharchy, I. (2023). Assessment of rainwater harvesting potential for urban area under climate and land use changes using geo-informatics technology. *Urban Climate*, 52, 101721.
- Haliza, A. R. (2021). Water issues in Malaysia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(8), 860-875.
- Iheaturu, C., Okolie, C., Ayodele, E., Egogo-Stanley, A., Musa, S., & Speranza, C. I. (2024). Combining Google Earth historical imagery and UAV photogrammetry for urban development analysis. *MethodsX*, 12, 102785.
- Imteaz, M. A., Khan, M. S., Hossain, I., & Ahsan, A. (2024). Impacts of climate change on rainfall ‘seasonality index’ and its potential implications on water savings and reliability through household rainwater tanks. *Climate*, 12(10), 153.
- Jabatan Pendaftar UKM. (2015). Laporan Tahunan Universiti Kebangsaan Malaysia 2015.
- Jabatan Pendaftar UKM. (2023). Laporan Tahunan Universiti Kebangsaan Malaysia 2023.

- Jabatan Perancangan Bandar dan Desa Semenanjung Malaysia. (1999). Panduan Pelaksanaan Inisiatif Pembangunan Kejiranan Hijau: Sistem Pengumpulan dan Penggunaan Semula Air Hujan.
- Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia. (2022). Pelan Tindakan Pendidikan Tinggi Malaysia 2022-2025.
- Khastagir, A., & Jayasuriya, N. (2010). Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, 381(3), 181–188.
- Kolej Keris Mas. (2025). History of Kolej Keris Mas. <https://www.ukm.my/kkm/sejarah>
- Korumaz, S. A., & Yıldız, F. (2021). Positional accuracy assessment of digital orthophoto based on UAV images: An experience on an archaeological area. *Heritage*, 4(3), 1304–1327.
- Meskele, D. Y., Shomre, M. W., & Soche, T. K. (2024). Evaluating rooftop rainwater harvesting potential to satisfy urban water demand in Hosaena City, South Central Ethiopia. *Water Supply*, 24(7), 2395–2408.
- Ministry of Housing Transport and Environment Maldives. (2009). Guidelines and Manual for Rain Water Harvesting in Maldives. World Health Organization.
- Mitchell, V. G. (2007). How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling? *Hydrological Processes*, 21(21), 2850–2861.
- Mostaffa, M. F., Musa, S. M. S., Zainal, R., Kasim, N., Noh, H. M., & Yassin, A. M. (2021). E-SPA: aesthetic innovation in UTHM's small-scale rainwater harvesting system. *International Journal of Integrated Engineering*, 13(5), 239-246.
- Muhammad Izzuddin, R., Sharifah, A., & Nur Asmaliza, M. N. (2023). Utilizing rainwater harvesting system for water scarcity at a double-story residential house. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 31(6), 2961–2972.
- Musa, S. M. S., Mostaffa, M. F., Manap, N., Yassin, A. M., & Zainal, R. (2022). Small scale rainwater harvesting design for external usage. *Environment and Ecology Research*, 10(2), 267-274.
- Nanteza, J., Thomas, B., Kisembe, J., Nakabugo, R., Mukwaya, P. I., & Rodell, M. (2022). A Google Earth-GIS based approach to examine the potential of the current rainwater harvesting practices to meet water demands in Mityana district, Uganda. *PLOS Water*, 1(11), e0000045.
- Nor Hafizi, M. L., Zulkifli, Y., & Achmad, S. (2018). A review of rainwater harvesting in Malaysia: Prospects and challenges. *Water*, 10(4).
- Nur Syarina, A., Azhar, A. H., Marlia, M. H., & Farah Diyana, A. (2017). Penentuan kualiti air daripada Sistem Penuaian Air Hujan di Kolej Ungku Omar, UKM Bangi. *Sains Malaysiana*, 46(8), 1211–1219.
- Oliveira, M. C., & Proença, J. (2025). Sustainable campus operations in higher Education institutions: A systematic literature review. *Sustainability*, 17(2), 607.
- Ozeren Alkan, M., & Hepcan, Ş. (2022). Determination of rainwater harvesting potential: A case study from Ege University [Yağmur Suyu Hasat Potansiyelinin Belirlenmesi: Ege Üniversitesi Merkez Yerleşkesi Örneği]. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 259–266.
- Public Works Department. (2012). Guide 06 - Rainwater Harvesting System Design.
- Rashid, M. A. D. A., Noor, N. A. M., Bakar, A. A. A., Jusoh, W. H. H. W., & Alias, R. (2025). Evaluating rainwater harvesting suitability in educational institutions using Tangki NAHRIM 2.0 for sustainable water management approach. *Jurnal Kejuruteraan*, 37(6), 2725-2737.

- Schärer, L. A., Busklein, J. O., Sivertsen, E., & Muthanna, T. M. (2020). Limitations in using runoff coefficients for green and gray roof design. *Hydrology Research*, 51(2), 339–350.
- Shamsuddin, M., Noorazuan, M. H., Ahmad, A., Khin, M. T., & Nurul Safiah, S. (2017). The reliability of rainwater harvesting system as an alternative source of water supply in Malaysia: A preliminary study. *Geografia: Malaysian journal of society and space*, 10(6), 97-104.
- Tossou, A. G., Adjegan, K. I., & Kablan, A. K. M. (2021). Rainfall and temperature trend analysis by mann–kendall test and significance for rainfed cereal yields in Northern Togo. *Sci*, 3(1), 17.
- Tsai, H. Y., Fan, C. M., & Liaw, C. H. (2024). Identifying the layout of retrofitted rainwater harvesting systems with passive release for the dual purposes of water supply and stormwater management in Northern Taiwan. *Water*, 16(20), 2894.
- Uddin, M. H., Md, R., Nur-E-Alam, M., Soudagar, M. E. M., Mohamed, H. b., & Amin, N. (2024). Rainwater quality disparities across Malaysian Peninsula sites. *Journal of Graphic Era University*, 12(02), 223–242.
- Ugai, T. (2016). Evaluation of Sustainable Roof from Various Aspects and Benefits of Agriculture Roofing in Urban Core. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 850–860.
- UKM Strategy Center. (2022). Universiti Kebangsaan Malaysia Sustainability Strategic Plan 2030.
- Universiti Kebangsaan Malaysia. (2025). SDG6 - Clean water and Sanitation: availability and sustainable management of water and sanitation for all. <https://www.ukm.my/kelestarian/sdgukm/sdg-6>
- Wan Zin, W. Z., & Jemain, A. A. (2008). Trends in annual extreme rainfall patterns in Peninsular Malaysia from 1975-2004. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 4(1), 230.