

Kepentingan Teknologi Hijau di dalam Menyokong Pembangunan Mampan bagi Sektor Pembinaan dan Alam Sekitar

Raja Noor Alina binti Raja Ali ^{1*}, Nor Hayati binti Ab Rahim¹

¹ Department of Civil Engineering, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

*Corresponding author E-mail: alina.ali@psmza.edu.my

Abstrak

Teknologi hijau telah muncul sebagai pendekatan strategik di dalam usaha global ke arah pencapaian pembangunan mampan. Kajian ini memberi tumpuan kepada pelaksanaannya dalam sektor pembinaan dan alam sekitar dengan menekankan peranannya dalam pemeliharaan sumber asli, pengurangan pencemaran dan penyesuaian terhadap perubahan iklim. Objektif utama kajian adalah untuk mengenalpasti kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar serta mengenal pasti kekuatan, kelemahan, peluang dan cabaran dalam pelaksanaan teknologi hijau di Malaysia. Kajian ini menggunakan metodologi penyelidikan kualitatif melalui analisis dokumen bagi memahami kepentingan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar. Data diperoleh daripada sumber primer dan sekunder melibatkan 82 jurnal yang dikaji secara sistematik. Kajian literatur dianalisis menggunakan jadual matriks untuk mengenal pasti kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan. Analisis SWOT turut digunakan mengenalpasti dan menganalisa kekuatan, kelemahan, peluang dan cabaran dalam pelaksanaan teknologi hijau di Malaysia. Dapatan kajian mendapati bahawa teknologi hijau boleh dikategorikan kepada beberapa bahagian utama di dalam sektor pembinaan. Diantaranya adalah melalui Pengurusan Hijau bagi Sisa Tapak Binaan, Rekabentuk Pasif dan Bangunan Hijau, Pengurusan Hijau bagi Air dan Pengurusan Sisa Pepejal, Teknologi Hijau melalui Tenaga boleh diperbaharui dan Biomass, Infrastruktur Hijau serta Penyelidikan dan Inovasi Hijau bagi Bahan Binaan. Semua inisiatif dan kaedah yang dikenalpasti berpotensi mengurangkan pelepasan gas rumah hijau, meminimumkan pembaziran sumber dan menggalakkan penggunaan tenaga boleh diperbaharui seperti solar, angin dan biojisim. Dapatan juga membuktikan bahawa pendekatan berasaskan teknologi dapat meningkatkan ketahanan infrastruktur serta menyokong keseimbangan antara pembangunan ekonomi dan kelestarian ekologi.

Kata Kunci: Teknologi Hijau, Pembangunan Mampan, Perubahan Iklim, Tenaga Boleh Diperbaharui, Biomass, Sustainable Development Goals (SDGs).

1.0 Pengenalan

Dalam era globalisasi dan urbanisasi yang pesat, pembangunan mampan telah menjadi matlamat utama bagi kebanyakan negara di dunia. Pertumbuhan ekonomi yang berterusan dan pertambahan penduduk menyebabkan peningkatan permintaan barang, perkhidmatan, infrastruktur dan penerokaan sumber alam. Adalah menjadi tanggungjawab semua di dalam memastikan pengurusan, perlindungan dan pembangunan alam sekeliling sentiasa terjaga dan terpelihara demi kelangsungan hidup generasi akan datang. Sering dengan itu, teknologi hijau diperkenalkan bagi mengurangkan kesan buruk terhadap alam sekitar dan dalam masa yang sama, meningkatkan kualiti kehidupan manusia. Teknologi hijau merupakan satu aplikasi, peralatan atau sistem yang memiliki ciri-ciri mengutamakan kelestarian alam sekitar dan mesra alam (Hassan et.al, 2017). Penerapan teknologi hijau adalah penting untuk pembangunan mampan kerana ianya bukan sahaja dapat menangani isu alam sekitar malah dapat meningkatkan ekonomi negara serta membudayakan sikap prihatin dan bertanggungjawab masyarakat dalam melestarikan bumi.

2.0 Pernyataan Masalah

Pembangunan pesat dan pertambahan populasi global telah meningkatkan permintaan terhadap sumber tenaga dan infrastruktur yang secara langsung menyumbang kepada pencemaran alam sekitar, kemerosotan biodiversiti, dan perubahan iklim. Peningkatan pelepasan gas rumah hijau serta kerosakan ekosistem semula jadi terjadi akibat kebergantungan berterusan terhadap sumber tenaga fosil seperti arang batu, minyak, dan gas. Teknologi hijau dan tenaga boleh diperbaharui seperti solar, angin dan biojisim diperkenalkan bagi menawarkan penyelesaian yang mampan dan berkesan. Cabaran besar dari segi kos permulaan yang tinggi, kekurangan

kesedaran awam, dan kekangan dasar yang menyukarkan integrasi teknologi hijau secara meluas dalam sektor pembinaan dan kejuruteraan awam. Hal ini menimbulkan persoalan tentang sejauh mana teknologi hijau dan tenaga boleh diperbaharui dapat dimanfaatkan secara efektif untuk mengurangkan impak negatif terhadap alam sekitar dan memastikan pembangunan yang lestari. Oleh yang demikian, terdapat persoalan tentang apakah kaedah-kaedah berkaitan dengan teknologi hijau yang dapat dilaksanakan bagi sektor pembinaan dan alam sekitar. Sehubungan itu, kajian ini dijalankan untuk mengenalpasti dan memberi kesedaran kepada umum berkenaan kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar. serta mengenalpasti kekuatan, kelemahan, peluang dan cabaran dalam pelaksanaan teknologi hijau di Malaysia khususnya di dalam bidang pembinaan dan alam sekitar.

3.0 Objektif Kajian

Objektif kajian adalah bagi,

- i. Menenalpasti kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar.
- ii. Menenalpasti kekuatan, kelemahan, peluang dan cabaran dalam pelaksanaan teknologi hijau di Malaysia.

4.0 Persoalan Kajian

Persoalan kajian ini adalah merujuk kepada objektif kajian yang telah digariskan oleh pengkaji iaitu:

- i. Apakah kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar?
- ii. Apakah kekuatan, kelemahan, peluang dan cabaran dalam pelaksanaan teknologi hijau di Malaysia?

Pengkaji juga turut meneliti bagaimana teknologi hijau membantu mengawal pencemaran dan kemusnahan ekosistem dan cabaran utama dalam pelaksanaan teknologi hijau dalam sektor pembinaan dan infrastruktur awam.

5.0 Kepentingan Kajian

Kajian ini adalah penting di dalam mengenalpasti, menilai, menganalisis cabaran pelaksanaan teknologi hijau khususnya di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar. Pada era moden ini, pelaksanaan teknologi hijau dan tenaga boleh diperbaharui menjadi satu keperluan mendesak dalam usaha melindungi alam sekitar yang semakin terancam. Teknologi ini memainkan peranan penting dalam mengurangkan pencemaran, terutama pelepasan gas rumah hijau yang menjadi punca utama perubahan iklim global.

6.0 Tinjauan Literatur

Literatur yang luas mengetengahkan faedah dan potensi sumber tenaga boleh diperbaharui dalam mencapai matlamat kelestarian. Penyelidik seperti Li et.al (2024) dan Ajao et.al (2024) berpendapat bahawa solar, angin, hidro dan biotena memainkan peranan penting dalam mengurangkan pelepasan gas rumah hijau dan memupuk kebebasan tenaga. Kajian juga menekankan peranan pemboleh teknologi hijau, termasuk grid pintar, hidrogen hijau dan infrastruktur cepak tenaga Zhou et.al 2025. Menurut kajian S.M. Rosdi et al (2025), kebergantungan terhadap bahan api fosil seperti petrol sebagai sumber tenaga utama di sektor pengangkutan telah membawa kepada kesan negatif kepada alam sekitar dan ekonomi. Menurut Erdiwansyah et.al (2024), salah satu kaedah didalam mengurangkan pelepasan karbon di udara adalah melalui penggunaan kenderaan elektrik. Selain itu, penggunaan teknologi hijau

membantu memelihara sumber asli serta melindungi habitat semula jadi yang kian terancam akibat pembangunan pesat. Menurut Nizamuddin et.al (2017), melalui pendekatan yang lebih lestari dalam sektor pembinaan, pengurusan air, dan pengangkutan, teknologi ini dapat mengurangkan kemusnahan biodiversiti serta mengelakkan bencana alam seperti banjir dan hakisan yang berpunca daripada aktiviti manusia yang tidak terkawal. Penerapan teknologi hijau ini menjamin kualiti hidup masa hadapan dengan memastikan pembangunan yang seimbang antara keperluan manusia dan kelestarian ekosistem. Oleh itu, pelaksanaan teknologi hijau dan tenaga boleh diperbaharui bukan sahaja penting untuk kelangsungan hidup manusia, malah kritikal untuk memastikan keseimbangan alam semula jadi terus terpelihara (Karmilah & Jamilah, 2014).

Teknologi hijau dapat membantu memulihara dan meminimumkan kesan buruk kepada alam sekitar. Dan dalam masa yang sama, kualiti hidup masyarakat dapat ditingkatkan. Ia turut disokong oleh Saedah Napisah & Edie (2020) yang berpendapat bahawa teknologi hijau dalam pembinaan dapat mengurangkan pelepasan karbon serta meningkatkan kecekapan tenaga. Manakala, menurut Hamidah Haneym et al. (2019), pengurangan pencemaran udara dan air boleh dicapai melalui penggunaan sumber tenaga boleh diperbaharui berbanding bahan api fosil. Sharif Shofirun et.al (2019) pula menyatakan bahawa penggunaan tenaga yang bersih dan efisien mampu mengurangkan beban pencemaran global. Bagi mengawal pencemaran, integrasi teknologi hijau dalam sistem tenaga negara adalah diperlukan (Aynun et.al, 2024). Menurut kajian Hukil Sino et.al. (2020) pula, bagi mengurangkan pelepasan karbon dan pencemaran udara, menyarankan tenaga hidroelektrik sebagai sumber boleh diperbaharui. Selain daripada itu, menurut Muhammad Barzani et al. (2015), sistem rawatan air sisa telah meningkatkan kualiti air dan mengurangkan pencemaran bahan organik dan kimia. Ianya juga turut dipersetujui oleh Ricky et.al (2024) bahawa pengurangan sisa pepejal, pelepasan *Greenhouse Gases* (GHG) dan pencemaran tapak bina dapat dilaksanakan melalui teknologi hijau.

7.0 Metodologi Kajian

Kajian ini menggunakan metodologi penyelidikan kualitatif untuk mendapatkan pandangan yang mendalam tentang peranan tenaga boleh diperbaharui dan teknologi hijau dalam pembangunan mampan. Sebanyak 82 buah jurnal dan artikel ilmiah telah dipilih dan dianalisis secara sistematik didalam *matrix table*. Kriteria pemilihan tertumpu pada perkaitan dengan tenaga boleh diperbaharui, teknologi hijau, dan pembangunan mampan.

7.1 Rekabentuk Kajian dan Kaedah Analisis Data

Kajian adalah secara kualitatif menggunakan penilaian dokumen yang disampel secara strategik berdasarkan kepada pertaliannya kepada isu yang ditetapkan dalam kajian. Sebanyak 82 buah jurnal telah dipilih, dikaji dan dianalisis. Ianya bagi menjawab pertanyaan persoalan seperti, bagaimana, apa, dan mengapa. Rekabentuk kajian bermula dengan persoalan kajian yang umum dikemukakan, diikuti dengan pemilihan subjek atau topik yang berkaitan. Kemudiannya data yang berkaitan dengan topik dikumpulkan. Hasil interpretasi data, teori atau konsep sedia ada atau baru dapat ditentukan. Penemuan kajian dianalisis melalui perbincangan mendalam data yang diperolehi, mengemukakan bukti dan penjelasan yang dimasukkan di dalam jadual matrik seterusnya dianalisis dengan menggunakan Analisis SWOT bagi menjelaskan dapatan dengan lebih mendalam. Proses ini berulang agar persoalan kajian yang jelas dan tepat dapat ditentukan. Bagi tujuan menjawab persoalan yang telah ditentukan, pengumpulan data lanjutan dilakukan. Akhirnya, penulisan temuan atau kesimpulan diperolehi.

8.0 Dapatan Kajian dan Perbincangan

Jadual 1: Jadual matrik kaedah pelaksanaan teknologi hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar hasil daripada dapatan kajian.

Bil	Kaedah Pelaksanaan	Ulasan	Kajian dan Rujukan
1	Amalan 3R dalam Pengurusan Sisa Tapak Binaan	Konsep pengurangan, penggunaan semula dan kitar semula (3R) merupakan strategi asas dalam pengurusan sisa binaan yang berkesan dan mesra alam. Ia membantu mengurangkan kebergantungan kepada tapak pelupusan dan menyumbang kepada ekonomi kitaran.	• Hamidah Haneyem et al. (2019) • Muzhafera et al. (2023) • Muhammad Firdaus et al. (2022)
2	Penggunaan Semula dan Kitar Semula Bahan Binaan	Bahan sisa seperti konkrit, kayu, dan keluli boleh dikitar semula atau digunakan semula sebagai bahan binaan alternatif, mengurangkan keperluan bahan mentah baharu.	• Mohd Saifudin & Sumayyah Aimi (2020) • Ekibapade Amasomuo & Jim Baird (2025)
3	Peranan Teknologi Digital (BIM) dalam Pengurusan Sisa	Teknologi BIM membolehkan perancangan lebih awal terhadap jenis dan kuantiti sisa binaan, sekali gus mengurangkan pembaziran dan meningkatkan keberkesanan tapak.	• Muhammad Hamizan et al. (2024) • Sofiah & Mohd Yamani (2024) • N E Kordi et al. (2020) • Farhana et al. (2020)
4	Pemilahan dan Pengasingan Sisa di Tapak Binaan	Pemilahan sisa pada sumber merupakan kaedah efektif bagi meningkatkan kadar kitar semula dan mengurangkan sisa bercampur yang memerlukan rawatan lebih intensif.	
5	Polisi dan Dasar Awam dalam Menangani Sisa Pembinaan	Polisi kerajaan yang menyokong pengurangan sisa, seperti undang-undang mandatori dan insentif untuk kitar semula, adalah penting untuk kejayaan pelaksanaan teknologi hijau dalam sektor pembinaan.	• Nurul Hidayana & Nur Batrisyia (2023)
6	Reka Bentuk Pasif dan Adaptasi terhadap Iklim	Reka bentuk yang mengoptimumkan pencahayaan semula jadi, pengudaraan silang, dan perlindungan haba dapat mengurangkan keperluan tenaga dalam bangunan. Ini penting dalam iklim tropika dan berbeza berdasarkan zon geografi.	• Muzhafera et al. (2023) • Afzan & Intan (2017) • Zuhaila et al. (2024)
7	Penggunaan Tenaga Boleh Diperbaharui dalam Bangunan	Integrasi sistem PV suria, pam haba dan sistem solar terma terbukti mengurangkan pelepasan karbon dan kebergantungan kepada tenaga fosil.	• Aynun et al. (2024)
8	Penggunaan Bahan Binaan Hijau dan Rendah Karbon	Penggunaan bahan binaan mesra alam seperti kayu FSC, batu kapur, bahan kitar semula dan sumber tempatan membantu mengurangkan jejak karbon.	• Karmilah & Jamilah (2014) • Saedah Napish & Edie (2020) • Sharif Shofirun et al. (2019) • Rasyidah et al. (2021)
9	Inovasi Hijau dalam Reka Bentuk dan Pengumpulan Air Hujan	Sistem pengumpulan air hujan (RWH) dan kecekapan air lain mengurangkan tekanan ke atas sistem pembekalan air dan meningkatkan kelestarian bandar.	
10	Teknologi Kumbahan Hijau (Green Wastewater Treatment)	Sistem rawatan seperti wetland buatan, rawatan berasaskan tumbuhan dan sistem biofiltrasi digunakan untuk merawat air kumbahan domestik secara semula jadi.	• Nizamuddin et al. (2017) • Hamidah Haneyem et al. (2019) • Muhammad Barzani et al. (2015) • Ricky et al. (2024)
11	Penggunaan Biomas sebagai	Biomas daripada sisa pertanian dan organik dimanfaatkan dalam sistem tenaga kecil untuk kegunaan awam di kawasan luar bandar dan bandar.	• Li et al. (2024) • Ajao et al. (2024) • Zhou et al. (2025)

Alternatif Tenaga Tempatan		• S.M. Rosdi et al. (2025)
12 Penggunaan Bahan Baharu dan Teknologi Penyesuaian Iklim	Bahan seperti konkrit berprestasi tinggi, turapan telap air, dan salutan penyeduk digunakan untuk mengurangkan kesan haba bandar dan degradasi struktur.	• Erdiwansyah et al. (2024) • Hukil Sino et al. (2020) • Aynun et al. (2024)

Hasil Dapatan daripada Jadual 1 dikelompokkan di dalam 6 bahagian utama sepertimana Rajah 1 dibawah, seterusnya diperincikan setiap satu bahagian menggunakan Analisis SWOT bagi megulas lanjut hasil kajian dengan lebih mendalam.



Rajah 1 : Hasil analisis Jadual 1 bagi kaedah bagi Teknologi Hijau dalam sektor pembinaan.

Rajah 1 menunjukkan dapatan kajian mengenai kaedah yang dilaksanakan bagi Teknologi Hijau di dalam sektor pembinaan dan alam sekitar. Kaedah pertama adalah melalui Pengurusan Hijau bagi Sisa Binaan. Sektor pembinaan merupakan sektor yang menghasilkan sisa binaan (*wastage*) yang tinggi. Sisa pembinaan ini terhasil semasa peringkat pembinaan dilakukan meliputi peringkat perancangan, peringkat anggaran dan pembinaan pembinaan. Oleh yang demikian, salah satu kaedah terbaik yang dapat dilaksanakan bagi menjayakan inisiatif teknologi hijau adalah melalui pengurusan hijau bagi sisa tapak binaan. Kaedah kedua pula ialah melalui Rekabentuk Pasif dan Bangunan Hijau. Pada peringkat perancangan awal lagi, rekabentuk pasif perlu dilaksanakan oleh pasukan perekabentuk dan konsultan pembinaan. Kaedah ketiga adalah pelaksanaan Pengurusan Hijau bagi Air dan Pengurusan Sisa Pepejal. Jabatan Pengurusan Sisa Pepejal Negara (JPSPN) menyatakan bahawa berdasarkan kajian komposisi dan sisa pepejal direkodkan sebanyak 33,000 tan sisa pepejal sehari dihasilkan pada tahun 2012. Ini bermakna, ianya pasti akan memberi kesan negatif kepada kesihatan awam dan alam sekitar sekiranya sisa pepejal tidak diuruskan dengan betul dan cekap. Sistem pengurusan air yang mesra alam seperti penggunaan air hujan untuk tujuan tanaman dan menyimpan air hujan perlu diperluaskan. Kaedah keempat pula adalah Teknologi Hijau melalui Tenaga Boleh Diperbaharui. Tenaga hijau melalui sumber yang diperolehi daripada alam sekitar secara semula jadi seperti tenaga solar, tenaga angin, tenaga ombak dan lain-lain lagi. Ianya dapat menjimatkan kos sekaligus mengurangkan pencemaran kepada alam sekitar. Kaedah kelima adalah melalui pelaksanaan Infrastruktur Hijau. Terdapat beberapa contoh infrastruktur hijau yang boleh diterapkan seperti ruang terbuka hijau termasuklah taman bandar, taman rekreasi dan taman botani. Kaedah keenam pula adalah melalui Inovasi dan Penyelidikan Hijau bagi Bahan Binaan. Penggunaan bahan binaan yang mesra alam dan penggunaan tenaga solar dan angin perlu dipertingkatkan bagi mencapai matlamat teknologi hijau. Untuk itu, inovasi dan

penyelidikan di dalam Teknologi Hijau perlu dipergiatkan lagi demi mencapai matlamat Dasar Teknologi Hijau Negara.



Rajah 2: Analisis SWOT Pengurusan Hijau bagi Sisa Tapak Binaan

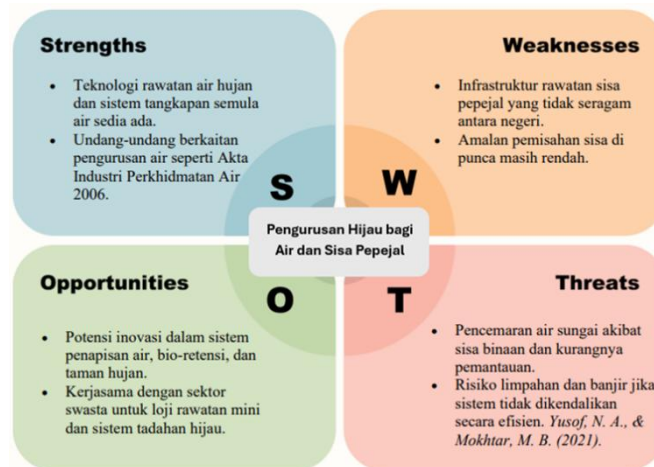
Rajah 2 menunjukkan Analisis SWOT bagi Pengurusan Hijau bagi Sisa Tapak Binaan. Di antara kekuatan yang dikenalpasti adalah sokongan daripada pihak kerajaan melalui pelbagai polisi yang diperkenalkan termasuklah *Construction Industry Transformation Programme (CITP)* yang menggalakkan pengurusan sisa secara lestari. Menurut Afzan & Intan (2017), penggunaan semula dan kitar semula bahan binaan semakin diterima dan mendapat sambutan di dalam industri terutamanya industri pembinaan. Walaubagaimanapun, terdapat kelemahan yang wujud iaitu kekurangan infrastruktur untuk pengasingan dan pemprosesan sisa tapak binaan. Di samping itu juga, kesedaran dan latihan di kalangan kontraktor tempatan tentang pengurusan sisa hijau di tapak binaan adalah kurang. Di antara peluang yang diperolehi melalui analisis SWOT ini adalah peningkatan permintaan terhadap bahan kitar semula dan teknologi hijau dalam pasaran pembinaan. Ini merupakan peluang yang baik bagi pemain industri mengorak langkah lebih aktif ke arah mengaplikasikan teknologi hijau di dalam bidang pembinaan. Ancaman bagi Pengurusan Hijau bagi Sisa Tapak Binaan adalah kos permulaan yang tinggi bagi sistem pengurusan sisa hijau serta kekangan dari segi penguatkuasaan undang-undang sisa binaan.



Rajah 3: Analisis SWOT Rekabentuk Pasif dan Bangunan Hijau

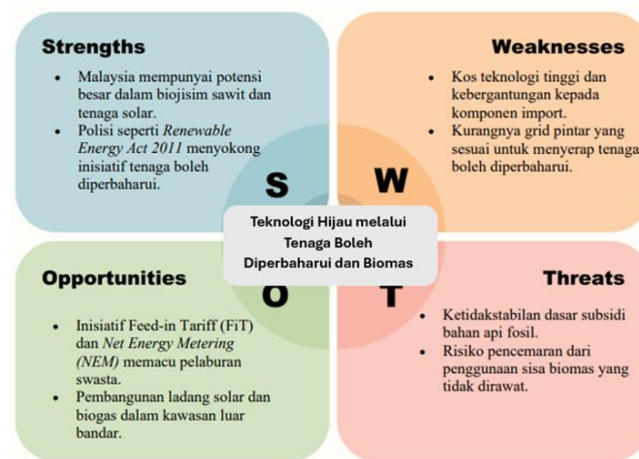
Rajah 3 menunjukkan Analisis SWOT bagi Rekabentuk Pasif dan Bangunan Hijau. Kekuatan yang wujud adalah rekabentuk pasif dan bangunan hijau mempunyai potensi yang besar di dalam menjimatkan tenaga, khususnya melalui pencahayaan dan pengudaraan

semulajadi. Seawal peringkat perancangan dan rekabentuk lagi, penerapan konsep rekabentuk pasif dan bangunan hijau perlu dilaksanakan bagi menjayakan teknologi hijau secara menyeluruh. Bangunan hijau merupakan bangunan yang mengamalkan konsep mesra alam dalam seluruh kitarnya termasuklah di peringkat perancangan, rekabentuk, pembinaan, penjagaan dan perobohan. Terdapat kelemahan yang dikenalpasti melalui Analisis SWOT iaitu kurangnya pengetahuan di kalangan arkitek dan jurutera mengenai prinsip rekabentuk pasif serta kurangnya perisian berupa simulasi rekabentuk bangunan secara pasif dan bangunan hijau di peringkat tempatan. Rekabentuk pasif dan bangunan hijau mempunyai peluang yang besar kerana terdapat skim pensijilan seperti *Green Building Index (GBI)* dan ini memberikan galakan kepada sektor swasta dalam menjayakannya. Kesedaran pengguna terhadap keperluan ruang kediaman yang selesa dan cekap tenaga juga turut meningkat. Walaubagaimanapun, diantara ancaman yang wujud adalah kebergantungan terhadap rekabentuk konvensional yang lebih murah dan cepat menjadi persaingan kepada teknologi hijau. Di samping itu juga, terdapat kekangan dalam proses kelulusan dan penilaian bangunan hijau menjadikannya sebagai ancaman di dalam pelaksanaan teknologi hijau bagi rekabentuk pasif dan bangunan hijau.



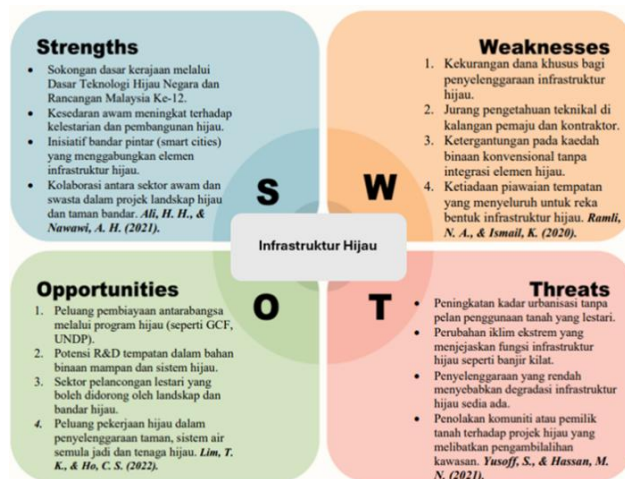
Rajah 4: Analisis SWOT Pengurusan Hijau bagi Air dan Sisa Pepejal

Rajah 4 menunjukkan Analisis SWOT bagi Pengurusan Hijau bagi Air dan Sisa Pepejal. Kekuatan yang wujud bagi pengurusan hijau bagi air dan sisa pepejal adalah terdapat teknologi rawatan air hujan dan Sistem Pengumpulan Dan Penggunaan Semula Air Hujan (SPAHS) sedia ada telah wujud dan undang-undang berkaitan pengurusan air seperti Akta Industri Perkhidmatan Air 2006 turut dilaksanakan. Kelemahan yang dikenalpasti adalah infrastruktur rawatan sisa pepejal yang tidak seragam antara negeri-negeri di Malaysia. Kelemahan lain yang wujud adalah amalan pemisahan sisa pepejal di kalangan masyarakat adalah masih rendah. Analisis SWOT menunjukkan terdapat peluang yang besar bagi pengurusan hijau bagi air dan sisa pepejal di dalam inovasi bagi sistem penapisan air, bio-retensi dan taman hujan. Terdapat peluang yang besar juga bagi kerjasama dengan sektor swasta bagi loji rawatan mini dan sistem tadahan hijau. Namun, terdapat pula ancaman yang perlu diberikan perhatian termasuklah pencemaran air sungai akibat sisa binaan serta kurangnya pemantauan menyebabkan risiko limpahan dan banjir jika sistem hijau ini tidak dikendalikan secara efisien.



Rajah 5: Analisis SWOT Teknologi Boleh Diperbaharui dan Biomas

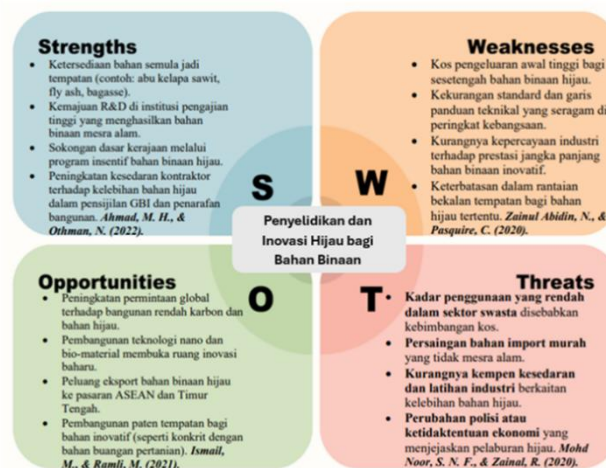
Rajah 5 menunjukkan Analisis SWOT bagi Teknologi Hijau melalui Tenaga Boleh Diperbaharui dan Biomas. Kekuatan yang dikenalpasti adalah Malaysia mempunyai potensi besar dalam biojisim sawit dan tenaga solar. Akta dan polisi yang diperkenalkan oleh negara seperti *Renewable Energy Act 2011* turut menyokong inisiatif tenaga boleh diperbaharui. Namun terdapat beberapa kelemahan yang dikesan termasuklah kos kepada teknologi ini adalah tinggi dan kebergantungan kepada komponen import. Grid pintar yang sesuai untuk menyerap tenaga boleh diperbaharui adalah terhad turut menjadi kelemahan bagi pelaksanaan teknologi ini. Walaubagaimanapun, terdapat peluang yang besar di dalam pelaksanaan teknologi hijau melalui tenaga boleh diperbaharui dan biomas. Ini selaras dengan inisiatif *Feed-in Tariff (FiT)* dan *Net Energy Metering (NEM)* yang dapat memacu pelaburan swasta. Peluang yang turut dikenalpasti adalah melalui pembangunan ladang solar dan biogas di kawasan luar bandar. Namun, terdapat juga beberapa ancaman yang perlu diambilkira termasuklah ketidakstabilan dasar subsidi bahan api fosil dan risiko pencemaran daripada penggunaan sisa biomas yang tidak dirawat.



Rajah 6: Analisis SWOT Infrastruktur Hijau

Rajah 6 menunjukkan Analisis SWOT bagi Infrastruktur Hijau. Diantara kekuatan yang dikenalpasti bagi infrastruktur hijau adalah sokongan dasar kerajaan melalui Dasar Teknologi Hijau Negara dan Rancangan Malaysia ke-12. Selain daripada itu juga, kesedaran awam mengenai infrastruktur hijau dan kelestarian serta pembangunan hijau turut meningkat.

Diantara inisiatif yang dilaksanakan oleh kerajaan termasuklah inisiatif Bandar Pintar (*Smart Cities*) yang menggabungkan elemen infrastruktur hijau. Menurut Ali et.al. (2021), ini merupakan satu langkah yang baik dengan mewujudkan kolaborasi di antara sektor awam dan sektor swasta terutamanya di dalam projek landskap hijau dan taman bandar. Walaubagaimanapun, terdapat beberapa kelemahan yang dikenalpasti diantaranya adalah kekurangan dana khusus bagi penyelenggaraan infrastruktur hijau dan terdapat jurang pengetahuan teknikal yang besar di kalangan pemaju dan kontraktor. Ini menyebabkan kaedah binaan secara konvensional tetap menjadi pilihan tanpa mengintegrasikannya dengan elemen hijau. Menurut Yanto et al. (2025), ketiadaan piawaian yang menyeluruh untuk rekabentuk infrastruktur hijau turut menjadi kelemahannya untuk berkembang dengan pesat. Namun, terdapat banyak peluang yang wujud di dalam usaha membangunkan infrastruktur hijau termasuklah peluang pembiayaan antarabangsa melalui program hijau seperti *Green Climate Fund (GCF)* dan *United Nations Development Programme (UNDP)*. Selain daripada itu juga, terdapat peluang luas dan berkembang melalui sektor perlancongan lestari yang meliputi landskap dan bandar hijau. Maka, peluang pekerjaan hijau dalam penyelenggaraan taman, sistem air semulajadi dan tenaga hijau akan turut berkembang. Walaubagaimanapun, pertimbangan perlu dibuat terhadap ancaman yang wujud seperti peningkatan kadar urbanisasi dan perubahan iklim ekstrim yang akan menjejaskan fungsi infrastruktur hijau seperti banjir kilat.



Rajah 7: Analisis SWOT Penyelidikan dan Inovasi Hijau bagi Bahan Binaan

Rajah 7 menunjukkan Analisis SWOT bagi Penyelidikan dan Inovasi Hijau bagi Bahan Binaan. Diantara kekuatan yang dikenalpasti daripada analisis SWOT adalah ketersediaan bahan semulajadi tempatan yang tinggi seperti abu kelapa sawit, *fly ash* dan lain-lain lagi. Institusi pendidikan tinggi juga turut aktif memajukan *Research & Development (R&D)* di dalam menghasilkan bahan binaan mesra alam. Sokongan dasar kerajaan juga dilihat dapat meningkatkan kesedaran dan penglibatan awam melalui program inisiatif bahan binaan hijau. Menurut Wan Harith & Narimah (2025), kesedaran para kontraktor dan pemain industri terhadap kelebihan bahan binaan hijau, pensijilan *Green Building Index (GBI)* dan penarafan bangunan memberikan impak yang positif di dalam menggalakkan bidang penyelidikan dan inovasi hijau ini. Walaubagaimanapun, terdapat beberapa kelemahan yang dikenalpasti melalui analisis SWOT termasuklah kos pengeluaran awal yang tinggi bagi sesetengah bahan binaan hijau dan kurangnya kepercayaan industri terhadap potensi bahan binaan inovatif dalam jangka masa yang panjang. Walaubagaimanapun, terdapat peluang yang dilihat dapat menjayakan penyelidikan dan inovasi hijau bagi bahan binaan termasuklah peningkatan permintaan global terhadap bangunan yang rendah karbon dan yang terdiri daripada bahan

binaan hijau. Selain daripada itu juga, pembangunan teknologi nano dan *bio-material* dapat membuka ruang inovasi baharu. Dengan pertambahan pengeluaran bahan binaan hijau ini, ianya akan memberikan peluang eksport ke pasaran *The Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN) dan Timur Tengah. Walaubagaimanapun, terdapat ancaman di dalam pembangunan penyelidikan dan inovasi hijau perlu ditangani termasuk kadar penggunaan bahan binaan hijau masih rendah dalam sektor swasta yang disebabkan kos yang tinggi serta persaingan bahan import tidak mesra alam yang lebih murah.

9.0 Kesimpulan dan Penutup

Teknologi Hijau merupakan salah satu usaha ke arah pengurangan pencemaran bagi alam sekitar. Ia termasuklah dari segi penggunaan tenaga yang boleh diperbaharui, bahan binaan yang mesra alam, rekabentuk bangunan secara pasif dan bangunan hijau serta pelbagai kaedah-kaedah hijau yang telah dinyatakan sebelum ini. Teknologi hijau bukan sahaja efektif di dalam memastikan kecekapan sumber, namun ia juga turut menyumbang kepada kelestarian ekosistem. Pengurusan sisa bahan binaan yang cekap dengan penghasilan bahan binaan yang inovatif serta mesra alam juga perlu diperkasakan melalui penyelidikan dan inovasi. Maka, inisiatif dan sokongan pihak-pihak yang terlibat amat diperlukan di dalam memastikan kejayaan bagi pengaplikasian teknologi hijau. Penggunaan infrastruktur hijau dan mesra alam dapat memberi manfaat besar kepada masyarakat dan pengguna. Semua lapisan masyarakat perlu memainkan peranan masing-masing demi memastikan teknologi hijau dapat diaplikasikan dengan jayanya dan dalam masa yang sama dapat mencapai hasrat kerajaan melalui dasar Dasar Teknologi Hijau Negara yang merangkumi unsur ekonomi, alam sekitar dan sosial seperti yang digariskan melalui lima objektif iaitu untuk menyelaraskan pertumbuhan industri Teknologi Hijau dan meningkatkan sumbangan Teknologi Hijau terhadap ekonomi negara; untuk membantu pertumbuhan dalam industri Teknologi Hijau dan meningkatkan sumbangannya kepada ekonomi negara; untuk meningkatkan keupayaan bagi inovasi dalam pembangunan Teknologi Hijau dan meningkatkan daya saing dalam Teknologi Hijau di persada antarabangsa; untuk memastikan pembangunan mapan dan memulihara alam sekitar untuk generasi akan datang; dan untuk meningkatkan pendidikan dan kesedaran awam terhadap Teknologi Hijau dan menggalakkan penggunaan meluas Teknologi Hijau. Disarankan agar penyelidikan, inovasi dan perkongsian ilmu mengenai Teknologi Hijau dapat dipergiatkan lagi dan ianya merupakan salah satu usaha bagi memupuk kesedaran awam terutamanya di dalam bidang tenaga yang boleh diperbaharui dan biomas, bangunan hijau, rekabentuk bandar dan taman hijau, pengurusan air dan sisa hijau, bahan binaan hijau dan lain-lain lagi.

Rujukan

- Afzan Ahmad Zaini & Intan Rohani Endut (2017). The drivers towards green construction-An empirical study in Malaysia January 2017 *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* 12(4):814-818 DOI: 10.3923/jeasci.2017.814.818
- Ajao, O. (2024) Optimizing Energy Infrastructure with AI Technology: A Literature Review. *Open Journal of Applied Sciences*, 14, 3516-3544. doi: 10.4236/ojapps.2024.1412230.
- Aynun Zubaydah, Azza Zauziyah Sabilah, Dyah Permata Sari & Fania Nur Aulia Hidayah (2024). Mengurangi Emisi: Mendorong Transisi ke Energi Bersih Untuk Mengatasi Polusi Udara *Journal of Science Education*, Vol. 4, No. 1 (2024): 11 - 21 Page 11 of 21 Biocephy: Journal of Science Education is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License E-Issn: 2798-0472 Doi: 10.52562/Biocephy.V4i1.1062 Biocephy: Journal of Science Education [Http://Journal.Moripublishing.Com/Index.Php/Biocephy](http://Journal.Moripublishing.Com/Index.Php/Biocephy).
- Ebikapade Amasuomo1 & Jim Baird (2016). The Concept of Waste and Waste Management.

- Journal of Management and Sustainability; Vol. 6, No. 4; 2016ISSN 1925-4725 E-ISSN 1925-4733. Published by Canadian Center of Science and Education. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/jms.v6n4p88>
- Erdiwansyah, Asri Gani, Rizalman Mamat, Bahagia, Muhammad Nizar, Syaifuddin Yana, Mohd Hafizil Mat Yasin, Muhibbuddin, S.M. Rosdi (2024). Prospects for renewable energy sources from biomass waste in Indonesia. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/case-studies-in-chemicaland-environmental-engineering
- Farhana Mohd Zaini, Qi Jie Kwong, Lynne Barbara Jack (2020). Water efficiency in Malaysian Commercial Buildings: A Green Initiative and Cost–Benefit Approach. International Journal of Building Pathology and Adaptation . DOI: 10.1108/IJBPA-09-2020-0080
- Hamidah Haneym Abdul Hamid, Ismawati Zakaria, Mohd Shukor Othman (2019) Tenaga Boleh Diperbaharui Bagi Penjanaan Tenaga Elektrik di Malaysia: Satu Kajian Literatur, Journal on Technical and Vocational Education (JTVE), Vol 4 No 3: Special Edition NASCO (2019) eISSN: 0128-0821 <http://upikpolimas.edu.my/ojs/>
- Hassan, N., Salamon, H., & Rahman, H. A. (2017). Peranan aplikasi teknologi hijau dalam konteks melestarikan alam sekitar menurut perspektif Islam. E-jurnal Penyelidikan dan Inovasi. E-Jurnal Penyelidikan dan Inovasi. rmc.kuis.edu.my/jpi/e-ISSN, 2289-7909.
- Hukil Sino, Nur Alyssa Azahari, Norwahida Zamani, Ab Aziz Ishak, Muhamad Hilmi Baba, Atiah Ayunni Abdul Ghani, Muhammad Hasamizi Mustapa (2020). Kesiediaan dan Potensi Masyarakat Di Malaysia Ke Arah Negara Rendah Karbon (Readiness And Potential Of Malaysian Society Towards Low Carbon Nation). Jurnal Pengajian Umum Asia Tenggara 21(2020): 117–125 <https://doi.org/10.17576/Malim-2020-2101-09>.
- Karmilah Abdullah, Jamilah Ahmad (2014) Impak Pemerkasaan Teknologi Hijau Terhadap Amalan Pengamal Perhubungan Awam Hijau Di Malaysian Green Technology Corporation (Impact of Green Technology Empowerment Towards Green Public Relations Practice at The Malaysian Green Technology Corporation)
- Li, T., Wang, H. & Lin, Y. Selection of renewable energy development path for sustainable development using a fuzzy MCDM based on cumulative prospect theory: the case of Malaysia. Sci Rep 14, 15082 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65982-6>
- Mamat, M. S., & Mohd Najib, S. A. (2020). Pendidikan Amalan Kitar Semula Sisa Pepejal kepada Masyarakat. GEOGRAFI, 8(1), 43 - 69. <https://doi.org/10.37134/geografi.vol8.1.3.2020>
- Muhammad Barzani Gasim, Nazirah Zakaria, Roslan Umar, Ahmad Dasuki Mustafa (2015). Analisis Kualiti Air Fiziko- Kimia dan Kandungan Mikrob di Hulu Sungai Langat, Selangor (A Physico-Chemical water quality and Microbial content Analysis in Upstream of Langat River, Selangor) Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol 19 No 5 (2015): 1072 - 1083 1072 Malaysian Journal of Analytical Sciences Published by The Malaysian Analytical Sciences Society.
- Muhammad Firdaus Zakaria, Raja Hisyamudin Raja Sulong & Osman Md Rasip (2022). Fasiliti Inovasi Kitar Semula (Fiks): Suatu Pendekatan Baharu Terhadap Pencapaian Teori Al-Daruriyyat Dalam Pengurusan Sisa Pepejal Domestik Di Malaysia. Published: 27/05/2022 DOI: <https://doi.org/10.33102/jfatwa.vol27no3.450>
- Muhammad Hamizan Abdul Rauf, Norliana Sarpin, Zailawati Khalid, Seow Ta Wee, Goh Kai Chen (2024). Pengintegrasian *Building Information Modelling (BIM)* dalam Pengurusan Rantaian Bekalan Bahan Binaan dalam Projek Pembinaan. The Research in Management of Technology and Business (RMTB) 2024. DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2024.05.01.094>
- Muzhafera Murni Muryanto, Zailawati Khalid, Zaharuddin Borham, Md Asrul Nasid Masrom,

- Seow Ta Wee1 (2023) . Kajian Tentang Pengurusan Sisa Bahan Binaan di Tapak Bina di Johor. *Research in Management of Technology and Business* Vol. 4 No. 1 (2023) 1221–1235 © Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office RMTB Homepage: <http://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rmtb> e-ISSN : 2773-5044 . DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2023.04.01.084>
- N E Kordi, N I Zainuddin, N F Taruddin, T N A Tengku Aziz, A Abdul Malik (2020). Study on integration of building information modelling (BIM) in civil engineering curricular ICONBUILD & RCCE 2019 IOP - (Materials Science and Engineering 849) (2020) 012018 IOP Publishing . doi:10.1088/1757-899X/849/1/012018 1
- Nizamuddin Zainuddin, Ezanee M. Elias, Mustakim Melan, Rohafiz Sabar (2017) Aplikasi Teknologi Kelestarian (Hybrid) pada Pengangkutan Awam (Bas) di Bandar Satu Pendekatan Diskriptif. *Journal of Technology and Operations Management (S)*. pp. 71-87. ISSN 1823-514X
- Nurul Hidayana Mohd Noor & Nur Batrisyia Nordin. (2023). Undang-Undang Dan Dasar Alam Sekitar Terhadap Pengasingan Sisa Domestik: Kajian Kesan Tidak Langsung Kesedaran Masyarakat. *Asian Journal of Environment, History and Heritage* December 2023 Vol. 7, Issue. 2, p. 25-39 ISSN 2590-4213 e-ISSN 2590-4310
- Rasyidah Miswan, Sharifah Meryam Shareh Musa, Hamidun Mohd Noh , Narimah Kasim, Rozlin Zainal . ((2021). Reka Bentuk Sistem Penuaian Air Hujan Pelbagai Fungsi Terhadap Rumah Lot Banglo. *Research in Management of Technology and Business* Vol. 2 No. 2 (2021) 460-477 © Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office. Homepage: <http://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rmtb> e-ISSN : 2773-5044. DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2021.02.02.034>
- Ricky, A. K., Nik Norliati Fitri, M. N., Zaini, S., Oliver, V. E., & Stanley, A. S. (2024). The Effectiveness of Malaysia's Climate Change Policy: An Analysis of the Performance of Low Carbon Development Implementation (2010-2020). *GEOGRAFI*, 12(1), 64–83. <https://doi.org/10.37134/geografi.vol12.1.4.2024>
- Saedah Napisah Abd Hamid & Edie Ezwan Mohd Safian (2020), Kajian Tahap Kepentingan Kriteria Bangunan Hijau Terhadap Nilai Harta Tanah Kediaman Melalui Kaedah Analytical Hierarchy Process (AHP), *Research in Management of Technology and Business* Vol. 1 No. 1 (2020) 826–838 © Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office, DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2020.01.01.062>
- Sharif Shofirun Sharif Ali, Muhammad Rizal Razman & Azahan Awang (2019), Tren Penggunaan Tenaga Elektrik Dan Pembebasan Gas Rumah Hijau Di Malaysia (The Trend of Electricity Consumption and Greenhouse Gases Emissions In Malaysia). *Asian Journal of Environment, History and Heritage* June 2019, Vol. 3, Issue. 1, p.39-45 ISSN 2590-4213 e-ISSN 2590-4310 Published by Malay Arts, Culture and Civilization Research Centre, Institute of the Malay World and Civilization
- Sofiah Ibrahim, Mohd Yamani Yahya. (2024). Cabaran Pelaksanaan Model Maklumat Bangunan (BIM) dalam Fasa - Fasa Projek Pembinaan di Malaysia. *Research In Management Of Technology And Business* E-Issn: 2773-5044 Rmtb Vol. 5 No. 2 (2024) 648-667 <https://Publisher.Uthm.Edu.My/Periodicals/Index.Php/Rmtb> DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2024.05.02.057>
- S.M. Rosdi, Erdiwansyah, Mohd Fairusham Ghazali, Rizalman Mamat, Evaluation of engine performance and emissions using blends of gasoline, ethanol, and fusel oil, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, Volume 11, 2025, 101065, ISSN 26660164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101065>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016424004596>)
- Wan Harith Luqman Wan Mazlan, Narimah Kasim (2025). Kajian Penggunaan Teknologi

- Hijau dalam Kalangan Kontraktor Skala Kecil dalam Projek Pembinaan Bangunan. Research In Management Of Technology And Business E-Issn: 2773-5044 Rmtb Vol. 6 No. 1 (2025) 317-332 <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rmtb>. DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2025.06.01.025>
- Yanto Ramli, Dudi Permana, Mochamad Soelton, Tine Yuliantini, Amirudin Wibowo, Dwi Kartini, Anees Janee Ali. The Effects of Green Technology, Energy Efficiency and Environmental Concerns to improve Sustainable Environment: Moderating Role of the Organizational Awareness. International Journal of Energy Economics and Policy. ISSN: 2146-4553 available at <http://www.econjournals.com> International Journal of Energy Economics and Policy, 2025, 15(2), 102-111. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.179>
- Zhou, C., Li, M. & Zhao, Y. Driving effect of government environmental protection expenditure on green technology from the perspective of fiscal transparency. Humanit Soc Sci Commun 12, 498 (2025). <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04791-2>
- Zuhaila Zakaria, Nor Rima Muhamad Ariff, Nur Maizura Ahmad Noorhani, Mohd Mawardi Hussain (2024). Journal of the Malaysian Institute of Planners Volume 22 Issue 3 (2024), Page 530 – 542 Sustainable Green Building Initiatives In Malaysia: Issues In The Implementation Practices