

Pelarasan Waktu Solat untuk Lokasi Beraltitud Tinggi: Analisis Berpacukan Data Prayer Time Adjustments for Elevated Locations: A Data-Driven Analysis

NUR AZWIN ISMAIL¹, SHAHIR AKRAM HASSAN^{*2}, MOHD SHUKRI HANAPI², WAN MOHD KHAIRUL FIRDAUS
WAN KHAIRULDIN³ & ROSLAN UMAR⁴

¹Pusat Pengajian Sains Fizik, Universiti Sains Malaysia, 11800 USM, Pulau Pinang, Malaysia

²Pusat Kajian Pengurusan Pembangunan Islam (ISDEV) Universiti Sains Malaysia, 11800 USM, Pulau Pinang,
Malaysia

³Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Rabat, Université Mohammed V de Rabat, Morocco, 3 Avenue des
Nations Unies, Agdal, Rabat Maroc B.P:8007.N.U

⁴Institut Penyelidikan Alam Sekitar Pantai Timur (ESERI), Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA), Kampus Gong
Badak, 21300 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

Corresponding Author; email: shahirakram@usm.my

Received: 7 August 2024 /Revised: 6 January 2025/Accepted: 13 February 2025/

Publish: 3 June 2025

ABSTRAK

Salah satu syarat sah solat ialah menunaikan solat pada waktu yang telah ditetapkan berdasarkan al-Qur'an dan Hadis. Oleh itu, menjadi satu keperluan dan kepentingan untuk mengetahui waktu bermula dan berakhirnya waktu-waktu solat tersebut agar solat dapat dilakukan dengan sempurna. Kajian ini bertujuan untuk mengenalpasti dan menganalisis aspek-aspek yang mempengaruhi waktu solat di tempat dan bangunan tinggi serta membuat penilaian semula waktu Syuruk dan Maghrib di tempat dan bangunan tinggi dengan mengambil kira faktor-faktor yang mempengaruhi waktu solat tersebut. Lokasi kajian ialah di Pengkalan SKN312 Western Hill, Pulau Pinang bagi ufuk Barat (waktu Maghrib) manakala Bukit Maras, Kuala Nerus dan Menara Kuantan 188, Pahang telah dipilih bagi ufuk timur (waktu Syuruk), masing-masing pada ketinggian 813m, 329m dan 104m. Kaedah ekstrapolasi data berdasarkan trend taburan data cerapan telah dilakukan. Selain itu, simulasi menggunakan persamaan yang bersesuaian telah dihasilkan. Hasil ekstrapolasi data lapangan bagi waktu Maghrib menunjukkan bahawa pada ketinggian 813m, matahari terbenam 3 – 4 minit lebih lewat. Manakala pada ketinggian 104m, matahari terbit 1.2 – 1.3 minit lebih awal yang menunjukkan waktu Syuruk itu bersamaan dengan waktu syuruk yang dicatatkan di dalam takwim bagi Kuantan. Bagi hitungan simulasi data sintetik pula, kajian mendapati bahawa pendekatan berbeza yang digunakan adalah selari antara satu sama lain dan memberi ralat bacaan yang sangat kecil. Nilai pembiasan yang dihitung pada paras laut di Pulau Pinang ialah 32 arka minit. Pada ketinggian 100m, matahari terbenam 1.384 minit lebih lewat dan pada ketinggian 813m, matahari terbenam lebih kurang 4 minit lebih lewat.

Kata kunci: Bangunan tinggi; junaman ufuk; tanah tinggi; matahari; waktu solat

ABSTRACT

One of the essential conditions for the validity of prayer (solat) in Islam is that it must be performed within the prescribed times based on the Quran and Hadith. Therefore, it is essential to accurately determine the specific start and end times for these prayers to ensure they are performed correctly. This study aims to identify and analyse the factors influencing prayer times at elevated locations and high-rise buildings, and to re-evaluate the times for Syuruk (sunrise) and Maghrib (sunset) at these locations, taking into account the factors affecting prayer times. Research was conducted at Pengkalan SKN312 Western Hill, Penang, for the western horizon (Maghrib time), and at Bukit Maras, Kuala Nerus, and Menara Kuantan 188, Pahang, for the eastern horizon (Syuruk time) at elevations of 813 m, 329 m, and 104 m, respectively. Data extrapolation methods based on observational data trends were employed. Additionally, simulations were generated using appropriate equations. The extrapolated field data for Maghrib indicated that at an elevation of 813m, the sunset occurs 3 – 4 minutes later. At an elevation of 104 m, sunrise occurs 1.2 – 1.3 minutes earlier, aligning

with the sunrise times recorded in the Kuantan calendar. The study found that various methods for synthetic data simulation calculations were in agreement with one another and produced minimal errors. The calculated refraction value at sea level in Penang is 32 arc minutes. At an elevation of 100m, sunset occurs 1.384 minutes later, and at 813m, sunset occurs approximately 4 minutes later.

Keywords: Elevated location; high-rise buildings; horizon dip; prayer times; sun

PENGENALAN

Alam semesta dan keindahannya menjadi sumber primer dalam karya sastera (Yaacob et al. 2024). Akan tetapi di dalam ilmu falak, pengetahuan tentang alam penting bagi penentuan waktu-waktu ibadah contohnya dalam penentuan waktu-waktu solat fardu. Menjadi salah satu syarat sah solat ialah menunaikan solat pada waktu yang telah ditetapkan berdasarkan al-Qur'an dan Hadis. Oleh itu, menjadi satu keperluan dan kepentingan untuk mengetahui waktu bermula dan berakhirnya waktu-waktu solat tersebut agar solat dapat dilakukan dengan sempurna. Selain itu, bagi masyarakat umum termasuk yang bukan Muslim, waktu Syuruk dan Maghrib adalah antara waktu yang paling penting kerana waktu ini mengatur aktiviti harian mereka iaitu waktu masuk kerja dan balik kerja (Ibrahim et al 2020). Tambahan pula, bagi orang Islam, solat dapat mengurangkan kemurungan dan membantu meningkatkan kualiti hidup pesakit yang menghidap penyakit jantung (Nuraeni et al. 2024; Tajbakhsh et al. 2018; Binaei et al. 2016).

Berdasarkan ilmu falak, waktu solat ditentukan menggunakan unjuran kedudukan matahari harian sebagai rujukan (Zainal 2002). Waktu solat ini dikaitkan dengan kedudukan matahari yang sepadan. Perkara ini adalah berdasarkan firman Allah SWT:

فَأَصْبِرْ عَلَىٰ مَا يَقُولُونَ وَسَبِّحْ بِحَمْدِ رَبِّكَ قَبْلَ طُلُوعِ
الشَّمْسِ وَقَبْلَ غُرُوبِهَا وَمِنْ آنَاءِ اللَّيْلِ فَسَبِّحْ وَأَطْرَافَ
النَّهَارِ لَعَلَّكَ تَرْضَىٰ

“Maka sabarlah kamu atas apa-apa yang mereka katakan, dan bertasbihlah dengan memuji Tuhanmu sebelum terbit matahari dan sebelum terbenamnya; dan bertasbih pulalah pada waktu-waktu di malam hari dan pada waktu-waktu di siang hari, supaya kamu merasa senang”.(Taha, 20:130)

Selain itu, penjelasan mengenai waktu-waktu bermula dan berakhirnya waktu solat ini juga ada dijelaskan dalam Hadis Rasulullah SAW yang diriwayatkan oleh Abdullah bin Umar r.a. iaitu:

وَقْتُ الظُّهْرِ إِذَا زَالَتْ الشَّمْسُ وَكَانَ ظِلُّ الرَّجُلِ كَطَوِيلِهِ
مَا لَمْ يَحْضُرْ الْعَصْرُ وَوَقْتُ الْعَصْرِ مَا لَمْ تَصْفُرْ الشَّمْسُ

وَوَقْتُ صَلَاةِ الْمَغْرِبِ مَا لَمْ يَغِبِ الشَّفَقُ وَوَقْتُ صَلَاةِ
الْعِشَاءِ إِلَى نِصْفِ اللَّيْلِ الْأَوْسَطِ وَوَقْتُ صَلَاةِ الصُّبْحِ
مِنْ طُلُوعِ الْفَجْرِ مَا لَمْ تَطْلُعِ الشَّمْسُ فَإِذَا طَلَعَتِ الشَّمْسُ
فَأَمْسِكَ عَنِ الصَّلَاةِ فَإِنَّهَا تَطْلُعُ بَيْنَ قَرْنَيْ شَيْطَانٍ.

“Waktu Zohor bermula apabila gelincir matahari sehingga panjang bayang sesuatu objek sama panjang dengan objek tersebut. Waktu Asar bermula apabila panjang bayang sesuatu objek sama panjang dengan objek pula sekiranya matahari belum keuningan. Waktu Maghrib bermula apabila matahari keuningan dan berakhir apabila hilangnya cahaya mega merah (syafak ahmar). Dan waktu Isyak bermula apabila hilang syafak ahmar sehingga tiga perempat malam. Waktu Subuh bermula dari terbitnya fajar dan berakhir apabila terbit matahari. Apabila telah terbit matahari maka dilarang mendirikan solat. Bahawa terbitnya di antara dua tanduk syaitan”. (Riwayat Muslim, No. Hadis 570)

Berdasarkan Hadis ini, para fuqaha' (ahli-ahli feqah) telah membuat tafsiran astronomi atau rumusan tentang waktu-waktu solat yang dipadankan pula dengan ilmu falak. Tafsiran sebegini boleh diklasifikasikan sebagai *tafsir 'ilmi* (Mohd et al. 2016). Secara umumnya, ini adalah bagi memudahkan urusan kehidupan manusia (Hilmi et al. 2024). Ini juga bertepatan dengan saranan al-Ghazālī di dalam karyanya *Tahāfut al-Falāsifa* bahawa masyarakat Islam sepatutnya menguasai ilmu sains (Noor, Rashed & Mokhtar 2022).

Secara ringkasnya, Mohamed (2018) menjelaskan penentuan waktu solat secara kiraan seperti berikut. Menurut syarak, waktu solat Subuh bermula dari terbit fajar *sadiq* hingga terbit matahari (apabila cakera matahari mula menyentuh ufuk). Kajian saintifik mendapati pada saat demikian matahari di kedudukan lebih kurang 18° di bawah ufuk. Namun dalam soal ini, setelah menjalankan kajian Jabatan Kemajuan Islam Malaysia (JAKIM) bersetuju supaya awal waktu Subuh ditetapkan ketika matahari di kedudukan terke bawah daripada -18° di bawah ufuk. Terdapat pihak yang menetapkan -19° maka jarak zenit matahari yang diambil untuk perhitungan adalah 109° iaitu $ZS = 109^\circ$ dan ada pula yang menetapkan -20° di bawah ufuk, jarak zenit yang digunakan untuk perhitungan adalah 110° iaitu $ZS = 110^\circ$.

Waktu solat Zohor bermula apabila matahari tergelincir ke arah barat daripada kita iaitu apabila pinggir timur matahari melintasi meridian tempatan. Nilai separa pusat matahari (SD) berubah-ubah sepanjang tahun iaitu antara 15' ke 17' arka mengikut kedudukan relatif matahari dengan bumi. Purata akan menjadi 16' = 1 minit 4 saat unit waktu. Masuk waktu solat Zohor adalah 1 minit 4 saat selepas waktu istiwa (waktu istiwa + 1 m 4 s).

Waktu solat Asar pula menurut Mazhab al-Syafi'iy, bermulanya waktu Asar adalah apabila panjang bayang sesuatu objek atau tiang adalah sama panjang objek atau tiang itu sendiri.

Seterusnya, masuknya waktu Solat Maghrib adalah apabila semua badan matahari terbenam di bawah ufuk (barat). Manakala, waktu solat Isyak di sesuatu tempat bermula dari hilangnya syafaq ahmar (mega merah senja) di ufuk langit barat tempat tersebut. Dalam konteks Malaysia pula, semua negeri kecuali negeri Kelantan menetapkan hilangnya syafaq ahmar bila altitud matahari -18° di ufuk barat, manakala negeri kelantan -17°.

Kajian ini memfokuskan kepada dua waktu iaitu waktu Syuruk dan waktu Maghrib. Waktu-waktu ini dipilih kerana ia melibatkan pergerakan matahari melintasi ufuk. Ini semestinya memberi kesan kepada cerapan matahari ketika terbenam dan terbit apabila pemerhati berada pada ketinggian berlainan altitud (Jamaluddin 2023). Semakin tinggi seseorang pemerhati daripada paras laut, semakin jauh jarak ufuk ketara yang dapat dilihat dan semakin besar perbezaan antara ufuk ketara dan ufuk hakiki. Ufuk ketara ialah ufuk yang berubah disebabkan oleh ketinggian sesuatu tempat manakala ufuk hakiki ialah had pandangan yang bersudut tepat dari zenit pencerap atau selari dengan pandangan mata pencerap (Zainal 2002). Oleh itu, kesan kerendahan ufuk perlu diberikan pembetulan junaman ufuk kerana ia mempengaruhi masa terbit dan terbenam matahari yang secara langsung mempengaruhi waktu Syuruk dan waktu Maghrib. Menurut Zainal (2002), pembetulan junaman ufuk hanya ditambah bagi kawasan yang ketinggiannya melebihi 100 meter dari paras laut. Junaman ufuk dapat dikira menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Junaman ufuk} = 1.76 \sqrt{h} \text{ (dalam arka minit)}$$

h: ketinggian tempat pencerap dari paras laut dalam unit meter

Oleh itu, jarak zenit sebenar setiap cakerawala khususnya bulan dan matahari ketika terbit atau

terbenam hendaklah diberikan nilai tambahan bagi pembetulan junaman ufuk. Hal ini mengakibatkan waktu solat maghrib dan waktu syuruk bagi tempat yang tinggi lebih lewat. Penilaian junaman ufuk perlu diberikan bagi waktu solat maghrib dan syuruk melibatkan bangunan tinggi melebihi 20 meter (Mohamed 2018).

$$\text{Maghrib}_{\text{WPM}} = \text{Waktu Transit}_{\text{WPM}} + t_M$$

Di mana

$$\begin{aligned} \text{Cos } t_M &= (\text{Cos } Z_M - \text{Sin } \delta_M \text{ Sin } \phi_{\text{TK}}) / (\text{Cos } \delta_M \text{ Cos } \phi_{\text{TK}}) \\ Z_M &= 90^\circ + sd + b + \text{JU} \\ &= 90^\circ + 16' + 34' + 1.76 \sqrt{h} \end{aligned}$$

b = biasan

JU = junaman ufuk

h = ketinggian lokasi

Selain itu, bagi aspek biasan cahaya pula, Mohamad Sadali (2011) mendapati nilai maksimum biasan yang dicatatkan bagi kaedah hitungan waktu Solat Maghrib ialah 32' minit arka iaitu berbeza dengan nilai yang digunakan pada masa kini iaitu 34' minit arka. Satu kajian perlu dilakukan untuk merekod semua nilai biasan yang wujud. Berkenaan nilai biasan cahaya, Che Awang (2015) mendapati nilai biasan cahaya ialah berbeza berdasarkan lokasi dan keadaan atmosfera semasa di kawasan kajian. Kajian ini adalah penting kerana jika tersilap walaupun sedikit masanya, solat tidak sah kerana belum masuk waktunya (Ardi 2020).

LATAR BELAKANG PENYELIDIKAN DAN TINJAUAN LITERATUR

Menurut Safiai et al. (2023), penentuan waktu ibadah di bangunan tinggi seperti menara pencakar langit yang berkongsi koordinat yang sama tetapi berbeza ketinggian menimbulkan kekeliruan dalam kalangan umat Islam. Di Malaysia penentuan waktu solat di tempat tinggi atau bangunan tinggi adalah berbeza berbanding dengan waktu solat di paras laut. Walau bagaimanapun, penggunaan zon waktu solat mengurangkan impak perbezaan kerana diserap oleh zon ihtiyati. Pada tahun 2016, Mufti Wilayah Persekutuan ketika itu iaitu Datuk Dr Zulkifli Mohamad Al-Bakri mengulas mengenai penetapan waktu solat di Menara Kuala Lumpur (ketinggian 421m) dan Menara Berkembar Petronas (ketinggian 452m). Beliau berkata kedudukan titik

rujuk paling barat di ibu negara yang terletak di Kampung Gedangsa meliputi ketinggian bangunan tinggi di wilayah itu dan secara amnya, bangunan di Malaysia tidaklah setinggi Burj Khalifa di Dubai (Nazurah Ngah 2016) dengan ketinggian 828m dan 163 tingkat yang mempunyai perbezaan waktu solat bagi aras tertentu. Di Burj Khalifa, penduduk di aras 60 hingga 120 akan mengalami perbezaan waktu terbit matahari 2 minit lebih awal dan terbenam matahari 2 minit lebih lewat. Manakala bagi penduduk di aras 121 ke atas pula, mereka mengalami waktu terbit matahari 3 minit lebih awal dan terbenam matahari 3 minit lebih lewat (AlHijrah Online 2019).

Walau bagaimanapun, pengukuran kepada waktu solat perlu diperhatikan perubahan ketinggian sesuatu tempat secara signifikan akan menyebabkan sudut pandang matahari akan turut berubah (al-Hattab 2003). Oleh itu, tidak syak bahawa akan terdapat perbezaan yang jelas sama ada pada paras laut, tempat rendah atau tempat tinggi terutama dari sudut pengukuran matahari terbit dan terbenam (Ibn Abidin 2003; al-Nadji 1976). Antara contoh sejarah yang pernah dibincangkan adalah perbezaan waktu solat pada permukaan bumi dengan atas menara di Iskandariah, Mesir. Para ulama ketika itu bersetuju bahawa waktu berbuka puasa dilewatkan sedikit antara kedua-dua kedudukan ini (al-Kasani 2000).

أن أباموس الخضر رضي الله عنه قال قال رسول الله صلى الله عليه وسلم
 إن من صعد جبلًا من الجبال فوجد في أعلىه ما لم يجد في أسفله
 فذلك من فضل الله عليه
 (Ibn Qayyim, 1984)

“Abu Musa al-Darir, seorang faqih pengarang kitab al-Mukhtasar telah datang ke Iskandariah (Mesir) kemudian

telah ditanya orang yang berada atas menara Iskandariah bahawa mereka masih melihat matahari seberapa ketika setelah terbenamnya di kawasan bandar (bawah), adakah boleh baginya untuk berbuka puasa, maka jawabnya: tidak boleh dan (hanya) dibenarkan kepada penduduk bandar kerana setiap hukum berdasarkan keadaan (tempatnyanya)”. (al-Syalabi 1896)

Penetapan waktu solat adalah berdasarkan kepada tempat semasa seseorang individu tersebut berada. Hal ini dinyatakan oleh Allah SWT dalam ayat 5 Surah al-Jathiah:

وَأَنزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً
 فَأَنبَتْنَا بِهِ الْأَرْضَ وَأَنزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ لُحُوفَ الْجِبَالِ
 لِيُتَّقَىٰ لِلرَّحْمَنِ الْيَوْمَ

“Dan (pada) pertukaran malam dan siang silih berganti, dan juga (pada) rezeki yang diturunkan oleh Allah dari langit, lalu Ia hidupkan dengannya tumbuh-tumbuhan di bumi sesudah matinya, serta (pada) peredaran angin, (semuanya itu mengandungi) tanda-tanda (yang membuktikan keesaan Allah, kekuasaanNya, kebijaksanaanNya, serta keluasan rahmatNya) bagi kaum yang mahu menggunakan akal fikiran. (Al-Jathiah, 45:5)

Menurut Ibn Kathir (2000), ayat ini menjelaskan peredaran matahari yang menetapkan permulaan siang dan malam secara berterusan. Perubahan ini adalah berlaku secara konsisten mengikut peredarannya. Oleh itu, perubahan tempat seseorang individu pada kedudukannya secara jelas akan mengubah sudut pandang mereka kepada waktu terbit dan terbenam matahari yang seterusnya akan membezakan waktu solat setiap tempat. Semakin tinggi sesuatu tempat dari paras laut, maka akan menyebabkan perbezaan antara ufuk hakiki dan ufuk ketara (Zainal 2004; Mohd Zulkifli 2013).

Selanjutnya, penetapan waktu solat di kawasan tinggi di Pulau Pinang pula adalah berdasarkan jadual berikut (Jabatan Mufti Negeri Pulau Pinang 2022; Abdul Aziz 2011)

JADUAL 1. Perbezaan waktu Maghrib pada ketinggian berbeza

Ketinggian (Meter, m)	Perbezaan Waktu (Minit)	Waktu Maghrib
Dibawah 100 m	0	07.28.00 malam
100-200 m	1	07.29.00 malam
200-400 m	2	07.30.00 malam
500-800 m	3	07.31.00 malam
900-1000m	4	07.32.00 malam

Dari aspek falak, perbezaan ketinggian akan mempengaruhi waktu terbit (waktu Syuruk) dan waktu terbenam (waktu Maghrib) matahari. Oleh itu, kajian ini telah dijalankan bagi menilai semula waktu Syuruk dan Maghrib di kawasan kajian yang dipilih.

METODOLOGI

KAWASAN KAJIAN

Tiga kawasan kajian telah dikenalpasti untuk pengambilan data lapangan yang melibatkan pergerakan matahari melintasi ufuk Timur dan ufuk Barat iaitu melibatkan perbezaan pada waktu Syuruk dan waktu Maghrib. Kawasan – kawasan tersebut disenaraikan seperti berikut:

1. Pengkalan SKN312 Western Hill, Pulau Pinang

Kawasan ini merupakan kawasan tertinggi yang berpenghuni di atas Bukit Bendera, Pulau Pinang. Altitud/ketinggian kawasan ini sekitar 813m dari aras laut. Kawasan ini dipilih bagi melihat pergerakan matahari melintasi ufuk Barat yang melibatkan waktu Maghrib. Kajian telah dijalankan pada 21 – 24 Januari 2022 dari jam 4 petang hingga 9 malam.

2. Menara Kuantan 188, Pahang

Menara ini merupakan menara tertinggi di Pantai Timur dengan ketinggian 188m. Anjung tinjau terbuka yang menjadi lokasi pencerapan data bagi kajian ini terletak pada ketinggian 104m. Pemandangan ufuk Timur tidak terhalang dan digunakan sebagai lokasi melihat waktu terbit matahari yang melibatkan waktu Syuruk. Kajian telah dijalankan pada 3 – 5 Februari 2022 dari jam 4 pagi hingga 9 pagi.

3. Bukit Maras, Terengganu

Kawasan ini merupakan satu kawasan rekreasi yang baru dibangunkan dan berpotensi besar bagi lokasi melihat matahari terbit. Ketinggian Bukit Maras ialah 329m daripada aras laut. Kawasan ini dipilih untuk melihat pergerakan matahari melintasi ufuk

Timur yang melibatkan waktu Syuruk. Kajian telah dijalankan pada 1 Februari 2022 dari jam 4 pagi hingga 9 pagi.

KAEDAH PENGAMBILAN DATA LAPANGAN

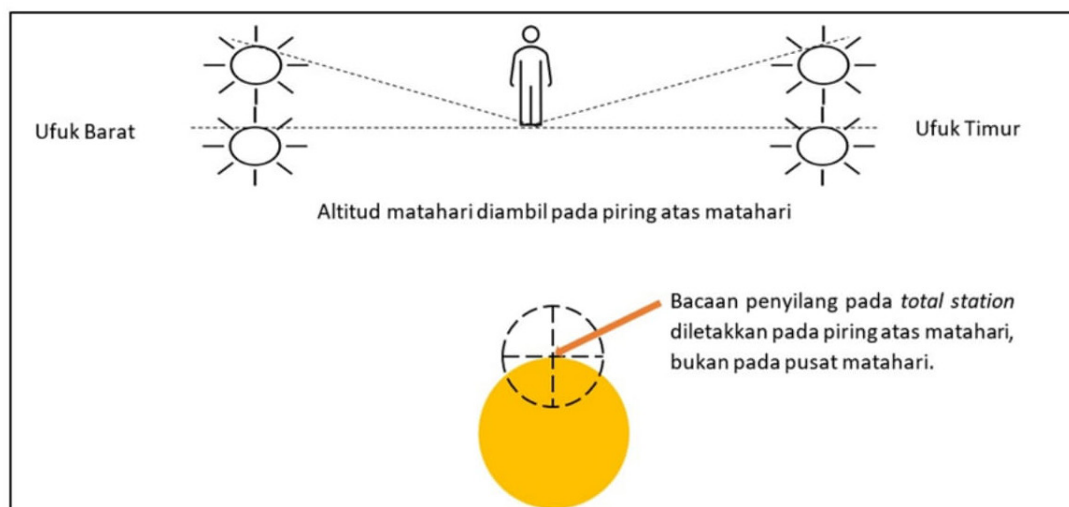
Kajian ini dibahagikan kepada dua fasa utama iaitu pengambilan data (fasa pertama) dan rumusan hasil kajian menggunakan pendekatan reka bentuk penfatwaan (fasa kedua). Bagi fasa pertama, terdapat dua jenis data yang diperoleh iaitu data lapangan di lokasi kajian dan data sintetik daripada simulasi. Kaedah pengambilan data yang lebih terperinci dihuraikan di bawah.

1. Pengambilan data lapangan menggunakan total station atau teodolit

Pengambilan data melibatkan penggunaan satu unit lengkap total station atau teodolit. Alat ini digunakan untuk mengambil bacaan altitud piring atas matahari sebaik sahaja piring atas matahari muncul di ufuk Timur di lokasi kajian (bersedia mengambil bacaan kira-kira 10 minit sebelum matahari terbit di aras laut – jika ada) berdasarkan takwim di Kuantan dan Terengganu. Bacaan akan diambil pada sela setiap satu minit.

Contohnya pada 5 Februari 2022, waktu matahari terbit pada ketinggian pemerhati yang berada pada aras laut ialah 7:22 pagi, jadi penyelidik telah bersiap sedia 10 minit lebih awal untuk mengambil sebarang kemungkinan masa dan altitud matahari apabila piring atas matahari muncul di ufuk Timur. Bacaan juga dilanjutkan sehingga 10-15 minit selepas terbit matahari. Di samping itu, di lokasi ufuk Barat (Western Hill), altitud matahari juga diambil kira-kira 10 minit sebelum terbenam matahari di Pulau Pinang pada pandangan pemerhati pada aras laut dan dilanjutkan kira-kira 5 – 10 minit selepas terbenam untuk memastikan matahari benar-benar telah terbenam.

Sebagai contoh, pada 22 Januari 2022, matahari terbenam pada jam 7:27pm bagi kawasan-kawasan yang berada pada ketinggian aras laut. Jadi, altitud matahari sudah mula dicerap 10 – 15 minit lebih awal iaitu sekitar jam 7:15pm dan dilanjutkan sehingga 5-10 minit selepas terbenam. Rajah 1 menunjukkan cara pengambilan data altitud piring matahari.



RAJAH 1. Kedudukan penyilang pada total station berada di piring atas matahari ketika altitud matahari diambil

2. Rakaman menggunakan teleskop dan kamera CCD dan perisian komputer

Rakaman pergerakan matahari secara dekat dirakam menggunakan teleskop dan kamera CCD dan disambungkan ke komputer. Teleskop tidak menjejaki pergerakan matahari tetapi di tetapkan pada azimuth tertentu dan fokus hanya pada kawasan ufuk. Masa paparan di komputer dipastikan sama dengan masa sebenar. Masa rakaman bermula dan berakhir akan dicatatkan.

3. Rakaman menggunakan kamera DSLR

Fungsi penggunaan kamera DSLR adalah sama seperti teleskop di bahagian ii. Masa paparan di kamera akan dipastikan sama dengan masa sebenar. Masa rakaman bermula dan berakhir akan dicatatkan.

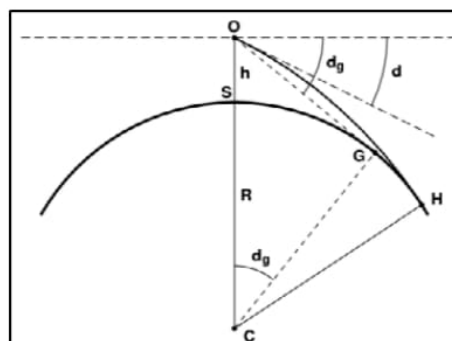
KAEDAH PEMROSESAN DATA LAPANGAN

Data altitud piring atas matahari akan diplot melawan masa. Disebabkan oleh cuaca yang berawan, tiada data altitud piring atas matahari di ufuk tidak diperoleh daripada ketiga-tiga lokasi. Ekstrapolasi dilakukan dengan menggunakan persamaan trendline yang diperoleh daripada graf yang diplot tadi. Sudut junaman ufuk dikira menggunakan dua pendekatan iaitu persamaan pertama daripada Zainal (2002) iaitu:

Persaman (1)

$$\text{Junaman ufuk} = 1.76 \sqrt{h} \text{ (dalam arka minit)}$$

Dan pendekatan kedua pula melalui kaedah trigonometri yang melibatkan jejari bumi (dalam meter iaitu 6371000m) dan ketinggian pemerhati, h . Kaedah ini ditunjukkan dalam Rajah 2.



RAJAH 2: Sudut junaman ufuk, dg .

Sudut junaman melalui kaedah trigonometri ini ditunjukkan dalam persamaan berikut:

Persamaan (2)

$$\text{Cos-1 } dg = R / R+h$$

Dimana R ialah jejari bumi dan h ialah ketinggian pemerhati.

Ekstrapolasi data lapangan dilakukan sehingga mencapai sudut junaman ufuk pada ketinggian lokasi kajian. Masa diambil dan dibandingkan dengan masa terbit/terbenam matahari pada tarikh dan lokasi yang sama pada aras laut.

KAEDAH PENGHASILAN DATA SINTETIK
DARIPADA HITUNGAN SIMULASI
MENGUNAKAN MAKLUMAT CUACA

Kajian hitungan simulasi dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan semata-mata untuk mendapatkan nilai pembiasan atmosfera pada aras laut (tiada junaman ufuk) dan di tempat tinggi dengan mengambil kira junaman ufuk. Hanya hitungan pembiasan atmosfera dan junaman ufuk pada waktu Maghrib di Pulau Pinang yang telah dijalankan. Hitungan lekukan solar juga dihitung bagi ketinggian setiap sela 50m sehingga 850m

untuk mendapatkan kelambatan matahari terbenam (*delay in sunset*) pada ketinggian pencerap.

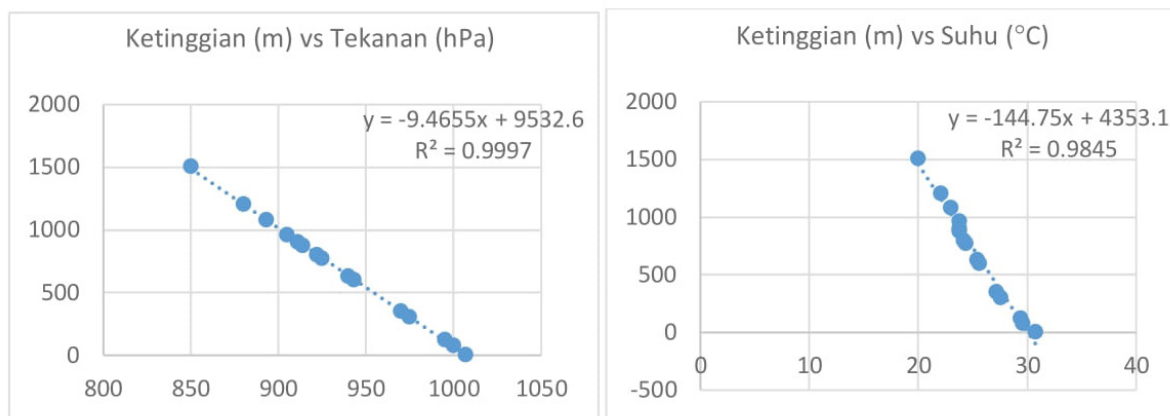
Bagi menghasilkan dapatan ini, data sokongan profil atmosfera diperoleh daripada Jabatan Meterologi Malaysia yang diekstrak melalui University of Wyoming (Department of Atmospheric Science) bagi tarikh, masa dan lokasi stesen kaji cuaca yang berhampiran dengan lokasi kajian. Rajah 3 menunjukkan contoh data mentah yang diperoleh bagi stesen kaji cuaca Bayan Lepas pada 25 Mei 2021 pada jam 12Z bersamaan 8 malam waktu Malaysia.

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1007.0	4	30.8	24.8	70	20.04	240	5	303.3	363.2	307.0
1000.0	78	29.6	24.7	75	20.06	255	4	302.8	362.5	306.4
995.0	123	29.4	24.5	75	19.92	257	4	303.0	362.4	306.6
975.0	304	27.6	23.9	80	19.55	265	4	303.0	361.3	306.5
970.0	350	27.2	23.7	81	19.46	272	4	303.0	361.0	306.5
943.0	600	25.6	21.6	79	17.60	310	2	303.8	356.4	307.0
940.0	628	25.4	21.4	79	17.40	326	2	303.9	355.9	307.0
925.0	770	24.4	21.4	83	17.69	45	2	304.2	357.2	307.5
922.0	799	24.2	21.4	84	17.75	47	2	304.3	357.5	307.6
914.0	875	23.8	20.8	83	17.24	53	3	304.7	356.4	307.8
911.0	904	23.8	20.2	80	16.66	55	3	305.0	355.0	308.0
905.0	962	23.8	19.0	75	15.53	48	4	305.5	352.3	308.4
893.0	1078	23.0	17.7	72	14.50	35	5	305.9	349.6	308.5
880.0	1206	22.1	16.3	70	13.44	355	3	306.2	346.9	308.7
850.0	1508	20.0	13.0	64	11.19	340	8	307.1	341.1	309.1
841.0	1599	19.5	12.2	63	10.73	335	9	307.5	340.2	309.5
793.0	2100	16.7	7.8	56	8.47	295	20	309.7	335.9	311.2
729.0	2817	12.6	1.6	47	5.93	292	15	312.8	331.6	313.9
700.0	3157	10.4	2.4	58	6.54	290	13	314.0	334.8	315.2
688.0	3301	9.2	5.7	79	8.42	285	13	314.2	340.7	315.8
664.0	3594	7.9	1.0	62	6.24	275	13	315.9	335.9	317.1
656.0	3695	7.4	-0.6	57	5.61	269	12	316.5	334.6	317.5
617.0	4195	3.4	0.0	78	6.26	240	8	317.5	337.7	318.7
613.0	4249	3.0	0.1	81	6.33	236	8	317.6	338.0	318.8
607.0	4328	2.6	-0.4	81	6.16	230	9	318.0	338.0	319.2
600.0	4422	2.8	-1.4	74	5.79	243	8	319.3	338.2	320.4
594.0	4503	2.5	-2.4	70	5.43	255	8	319.8	337.6	320.9
567.0	4877	0.9	-7.1	55	3.99	270	21	322.3	335.7	323.1
534.0	5359	-1.1	-13.1	40	2.62	284	18	325.5	334.6	326.0
500.0	5880	-4.3	-8.9	70	3.92	300	14	327.7	341.2	328.5
498.0	5912	-4.5	-8.6	73	4.03	300	14	327.9	341.7	328.7
493.0	5991	-4.9	-9.9	68	3.69	300	13	328.3	341.0	329.1
476.0	6268	-6.3	-14.3	53	2.67	326	9	329.9	339.3	330.4
470.0	6367	-7.1	-14.2	57	2.73	335	8	330.1	339.8	330.7
444.0	6810	-10.5	-13.7	77	3.01	14	11	331.2	341.8	331.8
440.0	6879	-10.8	-14.6	74	2.81	20	12	331.7	341.6	332.2
410.0	7421	-13.4	-21.8	49	1.64	50	12	335.1	341.2	335.4
400.0	7610	-14.3	-24.3	42	1.35	45	8	336.3	341.4	336.6
348.0	8656	-19.7	-31.7	34	0.78	315	5	342.7	345.7	342.8
340.0	8827	-21.1	-31.5	39	0.81	300	4	343.0	346.2	343.2
334.0	8957	-22.2	-31.3	43	0.84	340	2	343.3	346.6	343.5
316.0	9363	-25.6	-30.8	61	0.93	355	8	344.1	347.8	344.3
309.0	9527	-26.9	-30.6	71	0.97	10	11	344.4	348.2	344.6
308.0	9551	-27.1	-30.6	72	0.98	13	11	344.5	348.3	344.7
300.0	9740	-28.5	-32.6	68	0.83	35	10	345.1	348.4	345.3
292.0	9933	-30.1	-35.1	62	0.67	45	8	345.5	348.2	345.6
266.0	10586	-35.3	-39.2	67	0.48	20	20	347.3	349.3	347.4
250.0	11070	-38.7	-41.9	72	0.39	20	26	348.4	350.0	348.5

RAJAH 3. Profil atmosfera di Stesen kaji cuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang

Maklumat suhu dan tekanan atmosfera di ekstrak daripada data mentah dan di plot melawan ketinggian bagi mendapatkan trend peningkatan/penurunan. Rajah 4 menunjukkan contoh graf yang

telah diplot menggunakan data bertarikh 25 Mei 2021. Persamaan hubungkait antara ketinggian melawan suhu dan ketinggian melawan tekanan ditunjukkan pada sudut atas kanan graf.



RAJAH 4. Graf hubungan antara ketinggian melawan tekanan dan ketinggian melawan suhu bagi Stesen kaji cuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang

1. Hitungan pembiasan atmosfera pada waktu terbenam matahari di aras laut (kawasan Pulau Pinang)

Hitungan pembiasan atmosfera dalam unit darjah (National Oceanic and Atmospheric Administration) dilakukan dengan mengambil kira sudut zenit matahari pada setiap minit, 15 minit sebelum matahari terbenam. Ketinggian matahari dihitung dengan menolak sudut zenit matahari daripada sudut 90 darjah.

$$\text{Ketinggian matahari } (^\circ) = 90^\circ - \text{sudut zenit}$$

Pembiasan atmosfera dalam unit darjah kemudian ditukar kepada unit arka minit bagi membandingkan hasil pengiraan dengan dapatan kajian sebelum ini.

2. Hitungan pembiasan daratan (*terrestrial*) pada waktu terbenam matahari pada sela ketinggian setiap 50m (Western Hill)

Hitungan pembiasan atmosfera dilakukan dengan menggunakan dua model yang berbeza. Hal ini dilakukan untuk membuat perbandingan dan dapat mengurangkan ralat pada hitungan.

a. Model Pertama

Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai pembiasan dalam arka saat pada ketinggian pemerhati (Bomford 1980).

$$\text{Pembiasan daratan, } R = 1.63 * LP/T^2 (0.0342 + (\Delta T/\Delta h))$$

- Dimana L : Jarak pemerhati ke ufuk dalam meter.
- P : Tekanan dalam milibar atau hPa.
- T : Suhu dalam Kelvin
- $\Delta T/\Delta h$: Kecerunan suhu menegak (darjah celcius per meter)

Hasil dapatan kemudian ditukar ke unit arka minit.

b. Model Kedua

Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai pembiasan dalam unit radian pada ketinggian pemerhati (Sampson et al 2003).

$$\text{Pembiasan daratan, } R = kL/R_E$$

- Dimana k : Jejari lengkungan sinar cahaya.
- L : Jarak pemerhati ke ufuk dalam meter.
- R_E : Jejari bumi dalam meter.

Jejari lengkungan sinar cahaya, k pula dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Hirt et al 2010):

$$k = 503 * (P/T^2) * (0.0343 + ((\Delta T/\Delta h)$$

Hasil dapatan kemudian ditukar ke unit arka minit.

3. Hitungan junaman ufuk

Junaman ufuk dalam arka minit dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Junaman ufuk} = 1.76 \sqrt{h}$$

4. Hitungan lekukan solar (solar depression)

Hitungan ini dijalankan untuk mendapatkan kelambatan matahari terbenam pada ketinggian berbeza dalam minit. Hitungan ini menggunakan persamaan berikut (Saifee n.d.):

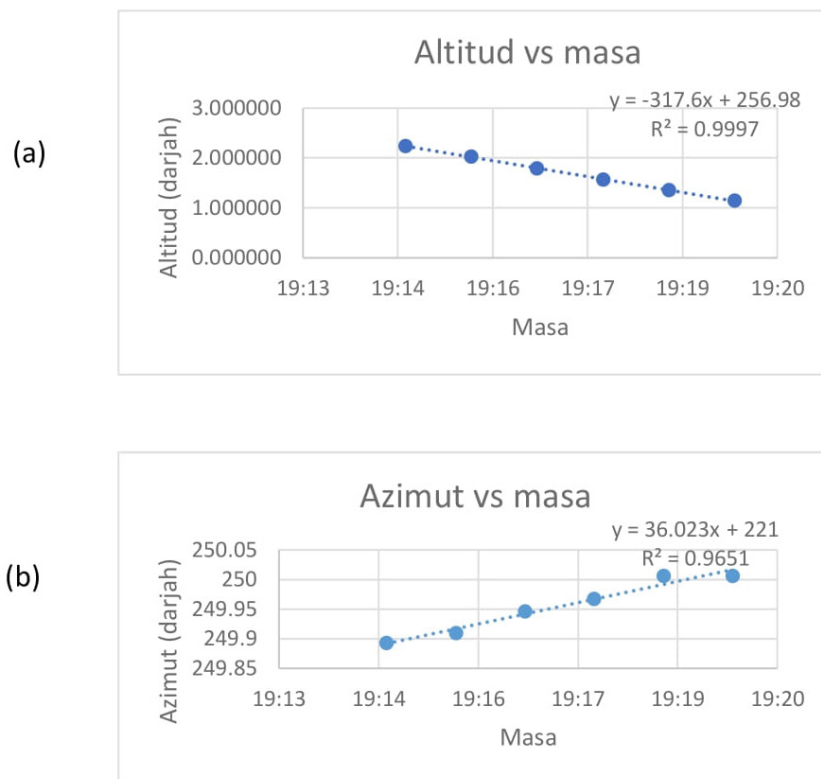
$$Sd = (2.076 * \sqrt{h} / 60 * 4)$$

ANALISIS DAPATAN KAJIAN DAN PERBINCANGAN

KAJIAN LAPANGAN WAKTU MAGHRIB DI WESTERN HILL

Data lapangan di lokasi ini hanya diperoleh pada dua hari cerapan (21 dan 22 Januari) sahaja. Walau bagaimanapun, tiada data cerapan matahari di ufuk yang dapat diambil berikutan keadaan ufuk yang berawan tebal dan berkabus yang menghalang penglihatan matahari. Pada hari pertama, hanya 6 data yang berjaya diperoleh (dari 7:15 hingga 7:20 malam) manakala pada hari kedua, 11 data dapat dicerap bermula dari 7:15 hingga 7:25 malam.

Berdasarkan dapatan data yang sedikit, satu pola dihasilkan menggunakan graf yang diplot (Rajah 5). Trend tersebut digunakan untuk mengekstrapolasi data sehingga mencapai sudut junaman ufuk pada ketinggian 813m.



RAJAH 5. Graf a) altitud dan b) azimut melawan masa. Persamaan yang ditunjukkan di sebelah kanan atas graf digunakan untuk ekstrapolasi.

Sudut junaman ufuk bagi ketinggian 813m dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2). Bagi persamaan (1), sudut junaman ufuk ialah -0.8364° manakala bagi persamaan kedua pula, sudut junaman ufuk ialah -0.915° . Beza antara kedua persamaan ini hanyalah 0.0786° . Kemudian, data diekstrapolasi sehingga mencapai sudut junaman ufuk tersebut. Jadual 2 menunjukkan data yang diperoleh di lokasi Western Hill. Data yang diperoleh dilapangan

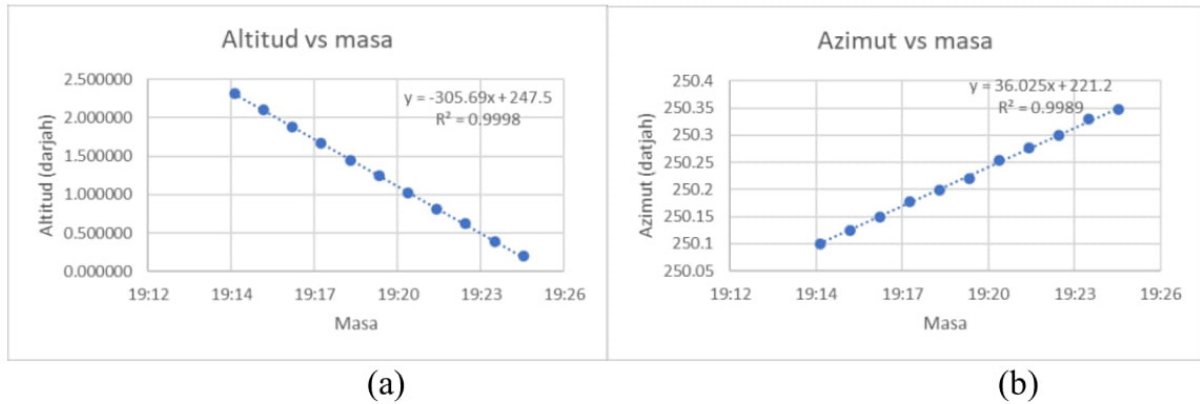
ialah yang berwarna hitam manakala data hasil ekstrapolasi dibezakan dengan warna hijau. Barisan yang bertanda oren menunjukkan waktu terbenam matahari pada kawasan yang berada pada aras laut manakala yang bertanda kuning ialah bacaan pada julat junaman ufuk daripada kedua-dua persamaan tadi. Perbezaan masa matahari terbenam (di Western Hill dan aras laut) menunjukkan sekitar 2-3 minit.

JADUAL 2: Data dan ekstrapolasi pada 21 Januari 2022 di Western Hill.

Tarikh	Masa	Altitud (DMS)			Altitud(DD)	Azimut (DMS)			Azimut (DD)
		D	M	S		D	M	S	
21.1.2022	19:15	2	14	24	2.240000	249	53	35	249.8930556
	19:16	2	1	28	2.024444	249	54	32	249.9088889
	19:17	1	47	14	1.787222	249	56	44	249.9455556
	19:18	1	34	10	1.569444	249	57	59	249.9663889
	19:19	1	21	31	1.358611	250	0	21	250.0058333
	19:20	1	8	21	1.139167	250	0	21	250.0058333
	19:21	0	54	54	0.915000	250	2	36.8	250.0435438
	19:22	0	41	40	0.694444	250	4	6.81	250.0685597
	19:23	0	28	26	0.473889	250	5	36.9	250.0935757
	19:24	0	15	12	0.253333	250	7	6.93	250.1185917
	19:25	0	1	58	0.032778	250	8	37	250.1436076
	19:26	-0	11	16	-0.187778	250	10	7.04	250.1686236
	19:27	-0	24	30	-0.408333	250	11	37.1	250.1936396
	19:28	-0	37	44	-0.628889	250	13	7.16	250.2186556
	19:29	-0	50	58	-0.849444	250	14	37.2	250.2436715
	19:30	-1	4	12	-1.070000	250	16	7.27	250.2686875
19:31	-1	17	26	-1.290556	250	17	37.3	250.2937035	
19:32	-1	30	40	-1.511111	250	19	7.39	250.3187194	

Data yang diperoleh daripada hari kedua cerapan adalah lebih meyakinkan dan mempunyai bilangan data hampir dua kali ganda daripada hari pertama. Kaedah yang sama digunakan bagi hari kedua. Rajah 6 menunjukkan graf yang diplot dan trend yang diperoleh digunakan untuk mengekstrapolasi sehingga ke julat junaman ufuk -0.8364° hingga -0.916° (Jadual 3).

Jadual 3 menunjukkan keputusan dan analisis pada 22 Januari 2022 di Western Hill. Hasil analisis menunjukkan julat perbezaan masa matahari terbenam pada ketinggian 813m dengan aras laut ialah sekitar 3-4 minit.



RAJAH 6. Graf a) altitud dan b) azimut melawan masa. Persamaan yang ditunjukkan di sebelah kanan atas graf digunakan untuk ekstrapolasi.

JADUAL 3. Data dan ekstrapolasi pada 22 Januari 2022 di Western Hill

Tarikh	Masa	Altitud (DMS)			Altitud (DD)	Azimut (DMS)			Azimut (DD)
		D	M	S		D	M	S	
22.1.2022	19:15	2	19	14	2.320556	250	6	2	250.1005556
	19:16	2	5	57	2.099167	250	7	31	250.1252778
	19:17	1	52	47	1.879722	250	8	56	250.1488889
	19:18	1	39	53	1.664722	250	10	38	250.1772222
	19:19	1	26	58	1.449444	250	11	58	250.1994444
	19:20	1	14	35	1.243056	250	13	11	250.2197222
	19:21	1	1	10	1.019444	250	15	11	250.2530556
	19:22	0	48	35	0.809722	250	16	39	250.2775000
	19:23	0	37	38	0.627222	250	17	56	250.2988889
	19:24	0	23	27	0.390833	250	19	44	250.3288889
	19:25	0	11	47	0.196389	250	20	50	250.3472222
	19:26	-0	1	26	-0.023986	250	22	12.9	250.3702431
	19:27	-0	14	11	-0.236271	250	23	42.9	250.3952604
	19:28	-0	26	55	-0.448556	250	25	13	250.4202778
19:29	-0	39	39	-0.660840	250	26	43.1	250.4452951	
19:30	-0	52	23	-0.873125	250	28	13.1	250.4703125	
19:31	-1	5	7	-1.085410	250	29	43.2	250.4953299	

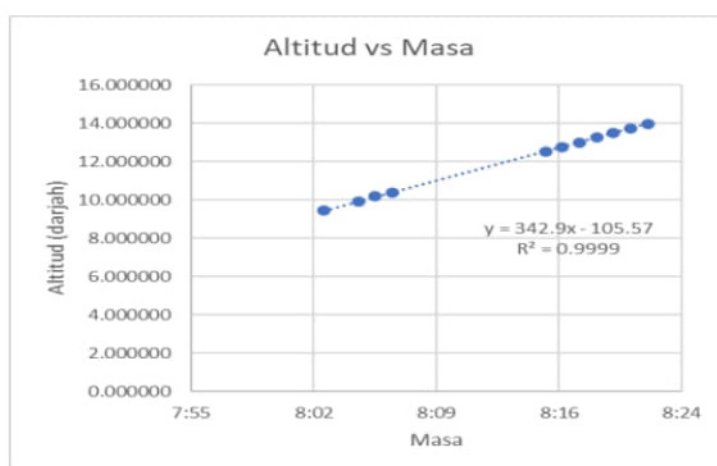
Dapatan ini selari dengan yang sedang digunakan sekarang iaitu bagi ketinggian 500 – 800m, tiga minit ditambah manakala 900 – 1000m ditambah 4 minit bagi waktu Maghrib mengikut ketinggian kawasan.

Walau bagaimanapun, data altitud matahari pada junaman ufuk ini hanyalah extrapolasi daripada data lapangan. Kekurangan data cerapan yang tepat pada ufuk disebabkan oleh limitasi masa dan keadaan cuaca diharap dapat diatasi dengan melakukan lebih banyak cerapan pada masa akan datang dan memerlukan tempoh kajian yang panjang. Rakaman daripada teleskop dan kamera DSLR juga tidak berjaya diperolehi memandangkan matahari sudah tidak kelihatan pada jam 7:26 malam, 22 Januari 2022.

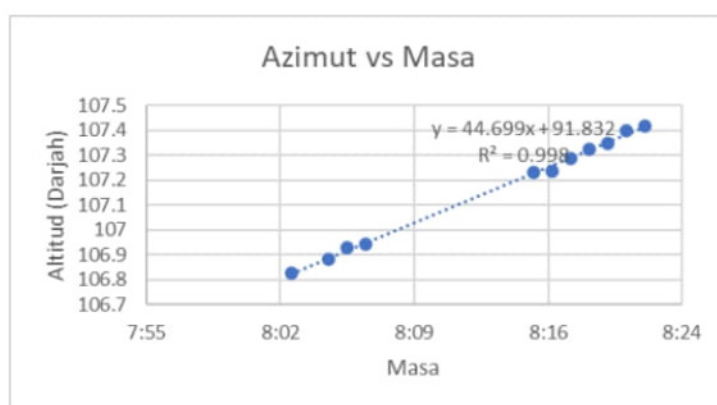
KAJIAN LAPANGAN WAKTU SYURUK DI MENARA KUANTAN 188

Bagi waktu Syuruk, dua lokasi telah dipilih, walau bagaimanapun, tiada data dapat dicerap di Bukit Maras memandangkan awan yang tebal di ufuk serta hujan lebat sebelum waktu Syuruk.

Data lapangan di Menara Kuantan 188 pula berjaya diperolehi satu jam setelah matahari terbit. Extrapolasi dilakukan sehingga mencapai sudut junaman ufuk pada ketinggian 104m yang dikira menggunakan persamaan (1) dan (2) seperti yang dilakukan di Western Hill. Junaman ufuk yang dihitung ialah -0.2991° bagi persamaan (1) dan -0.3274° bagi persamaan (2), menjadikan perbezaan antara kedua nilai sudut junaman ini ialah 0.0283° sahaja. Rajah 7 menunjukkan graf yang diplot menggunakan data yang diperolehi sejam setelah matahari terbit yang menunjukkan trend linear dengan $R^2 = 0.9999$.



(a)



(b)

RAJAH 7. Graf a) altitud dan b) azimut melawan masa. Persamaan yang ditunjukkan di sebelah kanan atas graf digunakan untuk ekstrapolasi.

Jadual 4 menunjukkan data yang diperoleh di lapangan. Banyak data tidak lengkap (ditanda dengan merah) dan tidak dilakukan interpolasi. Data yang diperoleh diplot seperti rajah diatas dan diextrapolasi menggunakan persamaan daripada graf dan ditunjukkan dalam Jadual 5. Hasil dapatan menunjukkan bahawa bagi ketinggian 104m, matahari akan terbit kira-kira 1 minit 12 saat hingga 1 minit 18 saat lebih awal berbanding pada aras

laut, iaitu pada sudut junaman ufuk ialah -0.2991° dan -0.3274° . Pada sudut junaman tersebut, waktu menunjukkan jam 7:22 pagi. Walaupun begitu, takwim bagi daerah Kuantan juga menunjukkan bahawa waktu Syuruk adalah sama iaitu pada 7:22 pagi. Hal ini mungkin disebabkan oleh penentuan waktu Syuruk dalam takwim menggenapkan waktu ke minit berikutnya sekiranya terdapat masa dalam saat.

JADUAL 4. Data pada 5 Februari 2022 di Menara Kuantan 188. Warna merah menunjukkan tiada data dicerap dan tiada interpolasi dilakukan.

Tarikh	Masa	Altitud (DMS)			Altitud (DD)	Azimut (DMS)			Azimut (DD)
		D	M	S		D	M	S	
5.2.2022	8:03	9	26	0	9.433333	106	49	35	106.826389
	8:04								
	8:05	9	54	45	9.912500	106	52	55	106.881944
	8:06	10	11	40	10.194444	106	55	50	106.930556
	8:07	10	22	20	10.372222	106	56	35	106.943056
	8:08								
	8:09								
	8:10								
	8:11								
	8:12								
	8:13								
	8:14								
	8:15								
	8:16	12	31	50	12.530556	107	13	45	107.229167
	8:17	12	45	15	12.754167	107	14	15	107.2375
	8:18	13	0	35	13.009722	107	17	15	107.2875
	8:19	13	16	30	13.275000	107	19	25	107.323611
	8:20	13	29	20	13.488889	107	20	55	107.348611
	8:21	13	43	35	13.726389	107	24	0	107.4
	8:22	13	58	0	13.966667	107	24	55	107.415278

JADUAL 5. Data ekstrapolasi pada 5 Februari 2022 di Menara Kuantan 188 (hijau). Barisan yang ditanda dengan warna oren menunjukkan masa matahari terbit pada junaman ufuk yang sepadan dengan ketinggian 104m, iaitu sama dengan waktu Syuruk didalam takwim.

Tarikh	Masa	Altitud (DMS)			Altitud (DD)	Azimut (DMS)			Azimut (DD)
		D	M	S		D	M	S	
5.2.2022	7:10	-3	10	35	-3.17625	105	10	46.62	105.179618
	7:11	-2	56	17	-2.93813	105	12	38.37	105.210659
	7:12	-2	42	0	-2.70000	105	14	30.12	105.241700
	7:13	-2	27	43	-2.46188	105	16	21.87	105.272741
	7:14	-2	13	26	-2.22375	105	18	13.62	105.303782
	7:15	-1	59	8	-1.98563	105	20	5.36	105.334823
	7:16	-1	44	51	-1.74750	105	21	57.11	105.365864
	7:17	-1	30	34	-1.50938	105	23	48.86	105.396905
	7:18	-1	16	17	-1.27125	105	25	40.61	105.427946

bersambung ...

... sambungan

7:19	-1	1	59	-1.03313	105	27	32.35	105.458987
7:20	-0	47	42	-0.79500	105	29	24.1	105.490028
7:21	-0	33	25	-0.55687	105	31	15.85	105.521069
7:22	-0	19	8	-0.31875	105	33	7.6	105.552110
7:23	-0	4	50	-0.08062	105	34	59.34	105.583151
7:24	0	9	27	0.15750	105	36	51.09	105.614192

HASIL HITUNGAN SIMULASI DENGAN MENGAMBIL KIRA SUHU DAN TEKANAN

Hitungan simulasi menggunakan metodologi yang telah diterangkan di atas dilakukan dan keputusan yang diperoleh adalah selari dengan dapatan daripada ekstrapolasi data lapangan. Simulasi menggunakan maklumat cuaca (tekanan dan suhu) pada tarikh 25 Mei 2021 untuk mendapatkan nilai pembiasan menggunakan 2 model yang berbeza serta hitungan junaman ufuk dan lekukan solar menunjukkan bahawa semua dapatan adalah selari dengan nilai yang digunapakai oleh Pulau Pinang sekarang berdasarkan ketinggian sesuatu tempat dan hasil ekstrapolasi daripada data lapangan. Berdasarkan dapatan hasil hitungan pada ketinggian aras laut, pembiasan atmosfera adalah pada 32.52 arka minit iaitu cerapan terakhir sebelum matahari terbenam. Dapatan ini adalah selari dengan hasil kajian terdahulu. Waktu terbenam matahari daripada hitungan ialah pada 7:27 malam dan waktu ini juga telah disemak dengan takwim waktu solat Pulau Pinang dan didapati selari.

ANALISIS DATA BERDASARKAN REKA BENTUK PROSES PENFATWAAN

Setelah kajian dan analisis data secara saintifik dijalankan, analisis data berdasarkan reka bentuk proses penfatwaan dijalankan bagi melihat dari perspektif hukum dan akhirnya mencadangkan Sighah Fatwa.

Berdasarkan reka bentuk proses penfatwaan, ada beberapa peringkat untuk dikaji. Pertama, *Al-Taswir* iaitu mengumpul maklumat, analisis, tempat dan masa, meneliti faktor-faktor yang mengubah hukum dan pertimbangan. Kedua, *Al-Takyif*. Ketiga *Al-Hukm* dan terakhir ialah *Al-Ifta*.

Dalam konteks kajian ini, pasukan penyelidikan memulakan dengan proses *Al-Taswir* yang mana terdapat beberapa perkara perlu diambil tahu iaitu, mencari maklumat (*Al-Dhabit Al-Ma'limati*), pertanyaan pakar (*Sual Ahl Al-Takhsis*), analisis (*Al-*

Dhabit Al-Tahlili), tempat dan masa (*Al-Dhabit Al-Makan Wa Al-Zaman*), meneliti faktor-faktor yang mengubah sesuatu hukum (*Al-Itlaq 'Ala Awamil Taghyir Al-Ahkam*), keperluan (*Al-Dhabit Al-Dharuriyyat*), pertimbangan (*Al-Dhabit Al-Tarawi*).

Perbincangan berkaitan waktu solat tempat tinggi ini adalah isu yang seringkali menjadi kekeliruan dalam kalangan masyarakat. Adakah perbezaan ketinggian altitud dari paras laut memberi kesan kepada penentuan waktu solat lima waktu atau hanya kepada sebahagian waktu solat sahaja. Bahkan, sebahagian takwim utama di Malaysia tidak menjelaskan tentang perbezaan waktu ini secara umum. Oleh itu, satu kajian perlu dilaksanakan bagi mendapatkan maklumat awal kepada isu ini.

Dalam kajian ini, terdapat beberapa kaedah yang diguna pakai untuk menggambarkan permasalahan iaitu untuk mendapatkan data awal berkaitan waktu solat tempat tinggi. Oleh itu, data lapangan daripada tiga tempat utama telah diambil. Kajian ini dimulakan dengan pencerapan di Pengkalan SKN312 Western Hill, Pulau Pinang pada 21 sehingga 24 Januari 2022. Data dari Western Hill ini adalah untuk melihat kedudukan junaman matahari di ufuk barat. Selanjutnya data diambil dari Balai Cerap KUSZA, UniSZA dan ditukar ke Bukit Maras, Kuala Nerus, Terengganu pada 31 Januari sehingga 2 Februari 2022, sebelum di Menara Teruntum, Kuantan Pahang pada 3 hingga 5 Februari 2022. Bagi pusingan kedua, pencerapan dilakukan untuk melihat terbit matahari.

Faktor ketinggian menjadi fokus utama dalam pengumpulan data lapangan memandangkan kajian ini memfokuskan kepada tempat tinggi. Selain itu, pelbagai alat pengukur yang membantu pencerapan turut digunakan bagi meningkatkan lagi ketepatan pengukuran. Kajian lapangan ini melibatkan penyelidik serta beberapa pegawai Falak di Jabatan Mufti Pulau Pinang dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM). Turut hadir adalah Puan Halimah bt. Khalil sebagai wakil Jawatankuasa Falak Negeri Pulau Pinang.

Keduanya ialah proses *Al-Takyif* iaitu keserapan dalam undang-undang Islam lebih dikenali sebagai

Al-Takyif Al Fiqhi. Dalam Bahasa Inggeris “adaptation of Islamic law”. Isu ini sudah ada dan perlu dibincangkan bagi mendapatkan masalah yang boleh diselesaikan. Ia boleh dikatakan sebagai *Al-Waqi’ah Al Mustajiddah, Al-Ahkam Al-Asl Al Fiqhi, Al-Asl Al-Fiqhi, Manat Al-Hukm* dan *Mutabaqah*.

Kajian ini memfokuskan kepada beberapa panduan hukum yang telah dibincangkan sebelum ini. Antaranya adalah perbincangan tentang fatwa yang telah diputuskan di Emiriah Arab Bersatu untuk penentuan waktu solat di Burj Khalifa, Dubai. Selain itu, beberapa literatur dan karya silam turut ditelaah bagi mendapatkan gambaran tentang penetapan hukum terhadap waktu solat di tempat atau kawasan tinggi. Kajian ini mendapati penentuan waktu solat dalam literatur menjelaskan kedudukan seseorang menjadi titik pengukuran kepada waktu solat. Oleh itu, penetapan waktu solat tidak boleh semata-mata diambil secara langsung dari sudut waktu solat secara umum, bahkan turut perlu diteliti dari sudut ketinggian altitud sesuatu kawasan.

Ketiga adalah *Al-Hukm* yang mana lebih kepada “stage of explanation”. Iaitu lebih kepada penentuan sumber dalil dan menganalisis untuk mengeluarkan fatwa. Di dalam analisis ada *Istinbat, Istiqra’, Istirdadi* dan *Jadali*. *Jadali* terbagi kepada tiga iaitu Ijtihad *Bayani*, Ijtihad *Ta’lili* dan Ijtihad *Istilahi*.

Berdasarkan kepada data yang telah diambil secara lapangan, didapati bahawa kedudukan tempat yang mempunyai altitud yang tinggi memberi kesan yang signifikan kepada waktu solat. Kajian ini mendapati waktu terbenam matahari dan terbit matahari berbeza mengikut ketinggian sesuatu tempat. Penentuan setiap waktu solat dalam Islam adalah *thabit* (tetap) tanpa mengikut kedudukan. Contohnya, pengukuran bagi solat subuh misalnya diambil ketika waktu fajar sadiq kelihatan pada kedudukan ufuk pada aras laut, begitu juga penentuan tersebut perlu diukur pada tempat tinggi. Oleh yang demikian, terdapat perbezaan yang ketara apabila ketinggian tersebut mencapai kadar tertentu dan perlu dibezakan waktu solat mengikut ketinggian.

Terakhir, keempat, proses *Al-Ifta’*, “stage of determination” yang mana meneliti kepada seluruh proses dan memberikan jawapan terbaik untuk seluruh umat Islam dan mengikut hukum hakam undang-undang Islam serta mufti perlu memberikan kata putus terakhir untuk penfatwaan. Ia perlu dilihat dari segi *Maqasid Syariah, ‘Urf* dan *Maslahah*.

Berdasarkan kepada proses sebelum ini, perbezaan waktu solat adalah signifikan antara aras

paras laut dengan tempat yang mempunyai altitud yang lebih tinggi. Selain itu, penentuan waktu solat yang berbeza pada tempat tinggi juga bersesuaian dengan negeri Pulau Pinang yang mempunyai beberapa tempat tinggi melebihi kadar 100 meter yang mempunyai perbezaan dengan paras laut seperti Bukit Bendera, Western Hill, Pejabat Komtar, Bukit Mertajam dan beberapa bangunan tinggi lain seperti kondominium di Pulau Pinang.

Selain daripada itu, penentuan waktu solat di Pulau Pinang yang diukur berdasarkan kepada *multi point* turut memberi kesan dalam tempoh ihtiyat yang dimasukkan dalam takwim waktu solat. Pulau Pinang misalnya tidak meletakkan waktu *ihtiyat* dalam solat subuh dan maghrib, menyebabkan sekiranya perbezaan waktu solat tempat tinggi ini diabaikan, maka pelaksanaan ibadah pada awal waktu bagi individu pada kawasan ini menjadi tidak sah. Oleh yang demikian, berasaskan kepada kaedah ifta, penentuan waktu solat mengikut ketinggian altitud perlu dimasukkan secara rasmi dalam takwim negeri Pulau Pinang secara terperinci.

SIGHAH FATWA

Hasil dapatan kajian daripada kumpulan penyelidik tentang waktu solat di bangunan dan tanah tinggi adalah seperti berikut:

1. Penentuan Waktu solat adalah berdasarkan kepada kedudukan semasa individu.
2. Berdasarkan kedudukan semasa individu, penambahan bagi solat maghrib dan pengurangan (lebih awal) pada waktu syuruk seperti berikut:
 - a. Satu minit untuk individu yang berada pada ketinggian 100-200 meter
 - b. Dua minit untuk individu yang berada kepada ketinggian 200-400 meter
 - c. Tiga minit untuk individu yang berada kepada ketinggian 500-600 meter
 - d. Empat minit untuk individu yang berada kepada ketinggian 800-1000 meter

Walau bagaimanapun, berdasarkan kekurangan data-data yang dikumpulkan oleh kumpulan penyelidik dalam kajian ini, maka tiada sighth fatwa dapat dicadangkan. Hasil dapatan kajian ini adalah bergantung kepada unjuran yang dibuat hasil cerapan data yang sedikit dan tidak mencukupi serta kaedah simulasi daripada data cuaca sahaja. Oleh itu, dapatan kajian hanya dicadangkan sesuai untuk dijadikan sebagai data awal dan tidak dapat

dijadikan sebagai sumber rujukan yang kuat. Kajian lebih terperinci dan pengumpulan data yang banyak amat diperlukan bagi menentusahkan dapatan awal ini.

KESIMPULAN

Hasil extrapolasi data lapangan bagi waktu Maghrib (data di Pengkalan SKN312 Western Hill, Pulau Pinang) menunjukkan bahawa pada ketinggian 813m, matahari terbenam 3 – 4 minit lebih lewat. Manakala pada ketinggian 104m (data di Menara Kuantan 188, Pahang) pula, matahari terbit 1.2 – 1.3 minit lebih awal yang menunjukkan waktu Syuruk. Walau bagaimanapun, waktu tersebut adalah sama dengan waktu yang ditunjukkan dalam takwim waktu solat di Kuantan. Bagi hitungan simulasi data sintetik pula, kajian mendapati bahawa pendekatan berbeza yang digunakan adalah selari antara satu sama lain dan memberi ralat bacaan yang sangat kecil. Pada ketinggian 100 m, matahari terbenam 1.384 minit lebih lewat dan pada ketinggian Western Hill iaitu 813m, matahari terbenam lebih kurang 4 minit lebih lewat. Hasil daripada simulasi kajian ini, satu model kelambatan matahari terbenam (delay in sunset) mengikut ketinggian telah dihasilkan dan ditunjukkan melalui hubungkait berikut dimana nilai h ialah ketinggian sesuatu tempat:

$$\text{Kelambatan (minit)} = -3 \times 10^{-6} h^2 + 0.0059h + 0.8134$$

Pengambilan data lapangan di lokasi yang telah dipilih serta lokasi-lokasi lain amat diperlukan untuk menentusahkan semua usaha ekstrapolasi dan simulasi yang dijalankan oleh pasukan penyelidik ini. Data lapangan yang melibatkan pergerakan matahari betul-betul terbit atau terbenam melintasi ufuk secara jelas sangatlah diperlukan bagi memastikan kajian waktu solat di bangunan atau tanah tinggi ini adalah tepat. Walau bagaimanapun, dalam kajian ini, penyelidik gagal mendapatkan data lapangan tersebut atas faktor cuaca dan ufuk yang sangat berawan ketika cerapan data dilakukan. Kajian lanjutan wajar dilakukan pada masa akan datang dan tempoh kajian yang lebih lama diperlukan untuk memastikan data yang diperolehi adalah tepat dan sangat memuaskan.

PENGHARGAAN

Penyelidik merakamkan setinggi penghargaan kepada Jabatan Mufti Negeri Pulau Pinang (JMNPP) yang telah membiayai penyelidikan ini. Setinggi-tinggi penghargaan juga diberikan kepada pihak Universiti Sains Malaysia (USM) dan USAINS Holding Sdn Bhd yang secara tidak langsung melancarkan perjalanan penyelidikan dapat disempurnakan dengan jayanya. Seterusnya pasukan penyelidik amat berterima kasih kepada semua pihak yang memberi kebenaran, memberi pelepasan tiket dan menyumbang kepakaran dan tenaga dalam proses pengumpulan data penyelidikan ini. Pihak-pihak berkenaan ialah Markas Pemerintahan Operasi Udara, Jabatan Risikan TUDM, Pengkalan Tentera Udara Butterwoth, Perbadanan Bukit Bendera Pulau Pinang, Jabatan Ukur dan Pemetaan Negeri Pulau Pinang (JUPEM), Bahagian Falak Jabatan Mufti Negeri Pulau Pinang (JMNPP), Balai Cerap KUSZA, Institut Penyelidikan Alam Sekitar Pantai Timur (ESERI), Universiti Sultan Zainal Adibin (UniSZA), Bukit Maras *Paragliding and Recreational Park*, dan Menara Kuantan 188 (Menara Teruntum). Penghargaan juga diucapkan kepada pihak Jabatan Meteorologi Malaysia yang telah memberi data cerapan profil atmosfera untuk menjalankan simulasi dan Pusat PEGIS, Pejabat Setiausaha Kerajaan Negeri Pulau Pinang atas maklumat dan data berkenaan bangunan/tempat tinggi di Negeri Pulau Pinang. Penghargaan juga diberikan kepada Ahmad Najmuddin Zulkeflee, Ahmad Ezzuddin Mohamad, Ahmad Idris Syahmi Izdihar dan Ahmad Lutfi Afifi Mohd Nasir atas sumbangan semakan dan penyuntingan, penyediaan, dan penyuntingan akhir.

SUMBANGAN PENGARANG

Artikel ini adalah hasil sumbangan saintifik yang signifikan dalam penyelidikan yang dilakukan oleh lima pengarang termasuk dalam konsep dan reka bentuk artikel penyelidikan, metodologi, analisis, tafsiran data penyelidikan, penyusunan data, penulisan - penyediaan draf asal; Nur Azwin Ismail, Shahir Akram Hassan, Mohd Shukri Hanapi, Wan Mohd Khairul Firdaus Wan Khairuldin, dan Roslan Umar.

RUJUKAN

- Al-Quran
- Abdul Aziz, A. H. 2011. *Kajian Terperinci Waktu Solat dalam Beberapa Zon di Malaysia*. Persidangan Muzakarah Falak 2011.
- AlHijrah Online. 2019. Perbezaan Waktu Berbuka di Burj Khalifa, <https://alhijrahnews.com/?s=Perbezaan+Waktu+Berbuka+di+Burj+Khalifa>. Retrieved on: 30 June 2024.
- Ardi, U. S. 2020. Problematika awal waktu shubuh antara fiqih dan astronomi. *AL-AFAQ: Jurnal Ilmu Falak dan Astronomi* 2(2): 87-102.
- Bomford, G. 1980. *Geodesy*. 4th edition. Oxford University Press.
- Binaei, N., Moeini, M., Sadeghi, M., Najafi, M., & Mohagheghian, Z. 2016. Effects of hope promoting interventions based on religious beliefs on quality of life of patients with congestive heart failure and their families. *Iranian journal of nursing and midwifery research* 21(1): 77-83.
- Che Awang, M. S. 2015. Kesan Biasan Atmosfera Hampir Ufuk Untuk Pengiraan Waktu Solat dan Cerapan Hilal dalam Jurnal Falak Bil. 1 (121-132). Putrajaya: Jabatan Kemajuan Islam Malaysia (JAKIM).
- Department of Atmospheric Science, College of Engineering, University of Wyoming, <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.
- Hilmi, A. B. A., Saleh, M. H., Sulaiman, A., Abdullah, W. N. W., & Nur, A. 2024. Manuscript designing and developing the form and condition for integrating the Quran with acquired knowledge. *Islamiyyat: International Journal of Islamic Studies* 46(1): 57-68.
- Hirt, C., Guillaume, S., Wisbar, A., Bürki, B., & Sternberg, H. 2010. Monitoring of the refraction coefficient in the lower atmosphere using a controlled setup of simultaneous reciprocal vertical angle measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115(D21).
- Ibn Abidin, M. A. 2003. *Radd al-muhtar `ala al-Durr al-mukhtar sharh Tanwir al-absar*. Al-Riyad: Dar `Alam al-Kutub
- Ibn Kathir, I. 2000. *Tafsir ibn kathir*. Riyadh: Dar-us-Salam.
- Ibrahim, I. A., Safiai, M. H., Hasan, S. A., & Jamsari, E. A. 2020. Penyatuan Zon Waktu ASEAN Kepada GMT+ 7 dan Kesannya Terhadap Waktu Solat di Malaysia. *Islamiyyat: International Journal of Islamic Studies* 42(1): 49-56.
- Jabatan Mufti Negeri Pulau Pinang. 2022. Risalah Penentuan Waktu Solat, Pelaksanaan di Pulau Pinang.
- Jamaluddin, M. 2023. Development of Astro time Islamic prayer schedule application and altitude correction test. *Al-Hilal: Journal of Islamic Astronomy* 4(2): 133-152.
- Al-Kasani. 2000. *Al-Bada'i al-Sana'i fi Tartib al-Syara'i*. Bayrut: Dar al-Ma`rifah.
- Mohamad Sadali, H. 2011. Kajian Penetapan Takwim Solat Pulau Pinang Menurut Ilmu Falak. Tesis Ijazah Sarjana Sastera (Pengajian Islam), Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan, Universiti Sains Malaysia.
- Mohamed, A. 2018. *Peranan JUPEM Dalam Permasalahan dan Isu-isu Falak di Malaysia'*, Kertas Kerja yang telah dibentangkan di Seminar Falak Nusantara 2018 yang telah diadakan di Institut Tanah dan Ukur Negara (INSTUN).
- Mohd Zulkifli, N. H. 2013. Penentuan waktu solat Isyak dan Subuh dalam kapal terbang menggunakan Sky Quality Meter-USB (SQM-LU): kajian bagi carta perjalanan kapal terbang Malaysia Airlines (MAS). Tesis Doktor Falsafah, University of Malaya.
- Mohd, N. S., Husin, H., Nasyrudin, W., & Abdullah, W. 2016. Pendefinisian semula istilah tafsir'ilmu. *Islamiyyat* 38(2): 149.
- Al-Najdi, A. R. 1976. *Hasyiah al-Rawd al-Murabba' Syarh Zad al-Mustaqni'*.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NOAA Solar_Calculations_Day, https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_day.xls.
- Nazurah Ngah. 2016. Penentuan Waktu Solat Ikut Ketinggian Tempat, <https://www.bharian.com.my/taxonomy/term/61/2016/06/165605/penetapan-waktu-solat-ikut-ketinggian-tempat>. Retrieved on: 30 June 2024.
- Noor, A. Y. M., Rashed, Z. N., & Mokhtar, A. M. 2022. The Intellect of Abū Hāmid Al-Ghazālī in dealing with the Qur'anic scientific exegesis. *Islamiyyat: International Journal of Islamic Studies* 44: 123-132.
- Nuraeni, A., Suryani, S., Trisyani, Y., & Anna, A. 2024. Islamic spiritual care, depression, and quality of life among patients with heart disease: A systematic review. *Journal of Holistic Nursing* 42(2_suppl): S7-S25.
- Safiai, M., Kashim, M., Ahmad, M., Jamsari, E., Ashari, M., & Muttaqin, A. 2023. Diversity Of Time Zones At Burj Khalifa In Performing Prayers And Fasting In Skyscrapers. *International Journal of Advanced Research* 11(01): 1808-1812.
- Saifee, A. A. S. n.d. How accurate are the computed timings for sunrise and sunset?, https://astronomycenter.net/pdf/saifee_2106.pdf. Retrieved on: 30 June 2024.
- Sampson, R. D., Lozowski, E. P., Peterson, A. E., & Hube, D. P. 2003. Variability in the astronomical refraction of the rising and setting Sun. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 115(812): 1256.
- Al-Syalabi, A. 1896. *Hasyiah al-Syalabi*. Bulaq: Matba'ah al-Amiriyyah al-Kubra.
- Tajbakhsh, F., Hosseini, M., Fallahi-Khoshknab, M., Rokofian, A., Rahgozar, M., & Mary Davidson, P. 2018. The effect of spiritual care on depression in patients following coronary artery bypass surgery: a randomized controlled trial. *Religions* 9(5): 159.

- Yaacob, M., Mamat, M., Nasir, Z. M., Ma'arof, D. Z., & Sulaiman, E. A. 2024. Alam dalam antologi cakerawala Islam Nusantara: Satu analisis takmilah. *Islamiyyat: International Journal of Islamic Studies* 46(1).
- Al-Hattab, M. 2003. *Mawahib al-Jalil li-sharh Mukhtasar Khalil*. Beirut: Dar al-Kutub al-'Ilmiyah, 2003
- Zainal, B. 2002. *Pengenalan Ilmu Falak*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Zainal, B. 2004. *Ilmu Falak*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.