

Model Reruang Magnitud Kecerahan Langit Di Balai Cerap KUSZA, Universiti Sultan Zainal Abidin (UNISZA)

(Spatial Model of Sky Brightness Magnitude at Balai Cerap KUSZA, Universiti Sultan Zainal Abidin (UNISZA))

ROSLAN UMAR^{1,*}, MUHAMMAD ARIF IMRAN AHMAD AZAN², NOR HAZMIN SABRI³, NORHAYATI NGAH^{1,4}, AHMAD NAJMUDDIN ZULKEFLEE⁵, AHMAD EZZUDDIN MOHAMAD¹, AHMAD SOLIHIN SIRA JUDDIN¹, MUSA GARBA ABDULLAHI⁶, NIK AHMAD FIRDAUS NIK WAN¹, NOR AIDA MAHIDDIN^{1,7}, MOHD KHAIRUL AMRI KAMARUDIN⁸, MOHD SAIFUL ANWAR MOHD NAWAWI², LOH ING HOE⁹, CHONG JU LIAN³, AHMAD LUTFI AFIFI MOHD NASIR¹, AHMAD HARIZ BELY¹ & AHMAD SYAZNI KAMARUDIN⁴

¹East Coast Environmental Research Institute (ESERI), Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA), Gong Badak Campus, 21300 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

²Academy of Islamic Studies, Universiti Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

³Faculty of Science and Marine Environment, Universiti Malaysia Terengganu, 21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

⁴Faculty of Bioresources and Food Industry, Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA), Besut Campus, 22200 Besut, Terengganu, Malaysia

⁵Jabatan Kemajuan Islam Malaysia, Aras 6 & 7, Blok D, Kompleks Islam Putrajaya (KIP), No. 3 Jalan Tun Abdul Razak, Presint 3, 62100 Putrajaya, Malaysia

⁶Department of Physics, Faculty of Science, Yusuf Maitama Sule University Kano, Nigeria 700221 Kofar Nassarawa, Kano Nigeria

⁷Faculty of Informatics and Computing, Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA), Besut Campus, 22200 Besut, Terengganu, Malaysia

⁸Faculty of Applied Social Sciences, Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA), 21300 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia

⁹School of Business and Management, RMIT University, Hồ Chí Minh, Vietnam

Diserahkan: 6 Julai 2023/Diterima: 10 Oktober 2023

ABSTRAK

Magnitud kecerahan langit merupakan antara aspek penting dalam bidang astronomi, terutama bagi cerapan astronomi optik yang memerlukan keadaan langit yang sangat gelap. Di Malaysia, terdapat banyak balai cerap rasmi dan persendirian yang digunakan bagi tujuan tersebut. Laporan kajian ini membincangkan berkenaan model taburan ruang (model reruag) bagi mendapatkan gambaran penuh magnitud kecerahan langit di sekitar Balai Cerap KUSZA (BCK) yang terletak di Kampung Merang, Setiu Terengganu. BCK dipilih dalam kajian ini kerana ia bukan sahaja merupakan lokasi rasmi bagi kerja-kerja pencerapan rukyah anak bulan baharu untuk penetapan takwim Islam (hilal), malah BCK juga menyediakan fasiliti bagi pengajaran dan pembelajaran (PdP) serta penyelidikan berkaitan astronomi dan astrofizik. Kajian ini penting bagi memastikan kelestarian cahaya gelap di BCK dan kawasan sekitarnya adalah relevan dengan keperluan semasa. Magnitud kecerahan langit diukur pada waktu malam menggunakan alat pengesan cahaya (SQM) di beberapa lokasi sekitar BCK yang kemudiannya dibandingkan dengan data simulasi satelit. Seterusnya teknik interpolasi menggunakan Sistem Maklumat Geografi (GIS) dilakukan bagi menghasilkan peta model reruag kecerahan langit yang jelas menunjukkan kawasan langit gelap dan terang di BCK dan kawasan sekitarnya. Analisis data menunjukkan kewujudan beberapa lokasi langit cerah (penunjuk pencemaran cahaya) di sekitar kawasan BCK dengan nilai tertinggi adalah $16.35 \text{ mag arcsec}^{-2}$ ($3.115 \times 10^{-2} \text{ cd m}^{-2}$) yang mungkin disebabkan oleh aktiviti manusia. Kecerahan langit di Balai Cerap KUSZA ialah $21.34 \text{ mag per arcsec}^{-2}$ ($3.144 \times 10^{-4} \text{ cd m}^{-2}$) dan merupakan antara titik paling gelap dalam kawasan BCK. Secara keseluruhan, data menunjukkan kawasan sekitar balai cerap masih selamat daripada pencemaran cahaya yang keterlaluan. Walau bagaimanapun, pencemaran cahaya tidak terkawal akan mengganggu gugat aktiviti cerapan. Oleh itu, peta model reruag yang dihasilkan ini dijangka dapat membantu penyelidik astronomi optik untuk memantau kadar pencemaran cahaya di BCK bagi tujuan penyelidikan astronomi umumnya dan rukyah hilal secara khususnya di Malaysia.

Kata kunci: Alat pengesan cahaya; astronomi optik; kecerahan langit; pencemaran cahaya; Sistem Maklumat Geografi

ABSTRACT

The magnitude of sky brightness is one of the important aspects in the field of astronomy, especially for optical astronomical observations that require an extremely dark sky condition. In Malaysia, there are many official and private observatories that are used for this purpose. This research report aims to provide a comprehensive understanding of the sky brightness magnitude through a spatial model around the Balai Cerap KUSZA (BCK) located in Kampung Merang, Setiu Terengganu. BCK was chosen in this study because it is not only the official location for observing the new crescent moon for the determination of the Hijri calendar (hilal), but BCK also provides facilities for teaching and learning (T&L) as well as research related to astronomy and astrophysics. This study is important in ensuring that the sustainability of dark areas in BCK and its surrounding is relevant to current needs. The magnitude of sky brightness is measured at night using a light detector or Sky Quality Meter (SQM) in several locations around BCK, which is then compared with satellite simulation data. Next, an interpolation technique using the Geographical Information System (GIS) is performed to produce a spatial model map of sky brightness that clearly depicts dark and bright sky areas in BCK and its surrounding areas. Data analysis shows the existence of several clear sky locations (indicators of light pollution) around the BCK area, with the highest value is 16.35 mag arcsec⁻² (3.115×10^{-2} cd m⁻²), which may be caused by human activities. The sky brightness at the KUSZA Observatory is 21.34 mag arcsec⁻² (3.144×10^{-4} cd m⁻²) and is among the darkest points in the BCK area. Overall, the data shows that the area around the observatory is still safe from excessive light pollution. However, uncontrolled light pollution can interfere the astronomy observation activities. Therefore, it is expected that the resulting spatial model will assist optical astronomy researchers in monitoring the level of light pollution in BCK for the purpose of general astronomy research and the observation of the new crescent moon, particularly in Malaysia.

Keywords: Geographical Information System; light pollution; optical astronomy; sky brightness; Sky Quality Meter

PENGENALAN

Pemeriksaan program penyelidikan dalam bidang astronomi menyaksikan banyak negara di seluruh dunia mula mengambil tanggungjawab untuk memeta magnitud kecerahan langit secara agresif. Usaha yang dipelopori oleh Persatuan Langit Gelap Antarabangsa (IDA) ini adalah bertujuan untuk melindungi langit malam daripada risiko pencemaran cahaya. Bagi tujuan tersebut, beberapa negara di dunia telah melaksanakan inisiatif untuk menggazetkan Kawasan Simpanan Langit Gelap. Untuk rekod, terkini terdapat 21 lokasi Kawasan Simpanan Langit Gelap atau *Dark Sky* telah digazetkan (International Dark Sky Reserve 2023). IDA telah bekerjasama dengan *Illuminating Engineering Society* (IES) Amerika Utara untuk membangunkan Model Ordinan Pencahayaan (MLO 2011) dalam usahanya mengatasi isu pencemaran cahaya yang berlaku di seluruh dunia.

Kajian berkenaan pencemaran cahaya adalah sangat penting untuk kelestarian alam dan kesihatan manusia. Sebagai contoh, Rodrigo-Comino et al. (2021) merumuskan bahawa pendedahan kepada cahaya yang berlebihan pada waktu malam memberikan kesan negatif terhadap ekologi persekitaran. Selain itu, pencemaran cahaya juga memberi impak kepada aktiviti sosial, tingkah laku dan tahap kesihatan manusia (Navara &

Nelson 2007). Kajian oleh Davies et al. (2014) pula mengaitkan pencemaran cahaya dengan keselamatan jalan raya dan keselamatan awam, penggunaan tenaga yang tinggi dan kesan rumah hijau. Sementara Schwarz (2003) pula menyatakan bahawa pencemaran cahaya boleh menyebabkan perubahan bentuk muka bumi seperti kehilangan lembangan gurun, dan juga mempengaruhi kemungkinan risiko kesihatan akibat manipulasi penggunaan wap merkuri pada lampu.

Menurut Abidin et al. (2013) dan Falchi et al. (2016), lokasi yang terletak berhampiran aktiviti manusia seperti kawasan perindustrian dan kediaman akan menjejaskan cerapan astronomi optik. Oleh yang demikian, reka bentuk lampu yang mesra alam boleh diubah suai bagi memberikan pencahayaan optimum, tetapi dalam masa yang sama meminimumkan penggunaan tenaga dan menyediakan pencahayaan jalan raya yang mencukupi demi keselamatan awam (Rajah 1). Kawalan terhadap indeks pencemaran cahaya boleh membantu meminimumkan kesan buruk terhadap ekosistem semula jadi. Contohnya, penyu dan tuntung merupakan spesies haiwan terancam di dunia yang bergantung kepada sistem pencahayaan di langit sebagai navigator serta memerlukan lokasi yang gelap untuk bertelur. Pencemaran cahaya kesan daripada faktor antropogen (Stachowitsch 2023) seperti



RAJAH 1. Kesan limpahan cahaya lampu di jalan raya

Sumber: <https://astroblake.com/2018/04/10/light-pollution/>



RAJAH 2. Contoh pencemaran cahaya yang dilihat dari atas Bukit Maras, Terengganu

(Gambar oleh Ahmad Najmudin Zulkiflee)

aktiviti pelancongan dan pembangunan menyebabkan penyu yang mendarat di pesisir pantai Terengganu telah berkurang dengan amat ketara. Abd Mutalib et al. (2015) menegaskan kepentingan memahami ekologi penyu bersarang serta pembangunan sektor pelancongan perlu diuruskan dengan betul untuk melindungi penyu dan bukannya hanya sebagai tarikan pengunjung demi mengaut keuntungan semata-mata.

Bagi mengatasi masalah ini, Agensi Angkasa Malaysia (MySA) telah mencadangkan pelaksanaan Akta Pencemaran Cahaya bertujuan untuk menyediakan peraturan mengenai limpahan cahaya yang disebabkan oleh pembangunan di kawasan bandar (Idris 2017). Ini kerana magnitud kecerahan langit yang tinggi akan sentiasa menjadi kelemahan besar kepada mana-mana balai cerap di dunia kerana ia akan mengurangkan

bilangan objek (bintang, planet, galaksi dan nebula) yang dapat diperhatikan. Hal ini juga seterusnya akan menghadkan potensi dan keupayaan balai cerap sebagai lokasi penyelidikan berkaitan astronomi. Sebagai contoh, Balai Cerap Negara Langkawi (LNO) yang merupakan balai cerap terancang di Malaysia serta dilengkapi dengan fasiliti terbaik dan boleh dikawal dari jauh (Tahar, Ahmad & Ismail 2020) juga berdepan dengan pencemaran cahaya yang tidak menentu. Umar et al. (2014) menyatakan bahawa lokasi pembinaan balai cerap untuk cerapan astronomi optik dan radio amat bergantung kepada kepadatan penduduk (Rajah 2). Oleh yang demikian, kajian berkaitan magnitud cahaya perlu dijalankan terlebih dahulu sebelum sesuatu balai cerap dibina di sesuatu lokasi (Sabri et al. 2015; Umar et al. 2015). Untuk itu, aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS) boleh diguna pakai untuk tujuan kajian tersebut. Hari ini, aplikasi GIS semakin popular terutamanya dalam membantu penyelidik dalam menyelesaikan pelbagai masalah dan membuat keputusan yang terbaik dalam pelbagai bidang kajian (Alvarado et al. 2016). GIS memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu pengguna untuk mengumpul, menganalisis dan memaparkan data ruwang dalam pelbagai bentuk yang disesuaikan dengan keperluan penyelidikan (Kamarudin et al. 2015; Yusri et al. 2009).

Dalam kajian ini, aplikasi GIS telah digunakan untuk menghasilkan model ruwang magnitud kecerahan langit di sekitar Balai Cerap KUSZA (BCK) yang terletak di Kampung Merang, Setiu, Terengganu. Model ruwang ini juga dihasilkan bertujuan untuk menilai tahap pencemaran cahaya di kawasan balai cerap tersebut. BCK telah dibangunkan dengan peruntukan yang besar oleh Kerajaan Negeri Terengganu di bawah seliaan Kolej Ugama Sultan Zainal Abidin (KUSZA), tetapi kini ditadbir sepenuhnya oleh Universiti Sultan Zainal Abidin (UniSZA) selepas KUSZA dinaiktaraf menjadi universiti awam. Pada awalnya, BCK ini dibina untuk digunakan semasa pencerapan anak bulan (hilal). Selari dengan perkembangan semasa, BCK kini menjadi lokasi penyelidikan penting dalam bidang falak atau astronomi di negara ini. Kajian ini dijalankan dengan menggunakan alat pengesan cahaya (SQM) yang dikeluarkan oleh Unihedron untuk mengukur magnitud kecerahan langit. Data kecerahan langit yang diperolehi dalam kajian ini diinterpolasi dan dianalisis dengan menggunakan GIS.

Untuk rekod, kawasan BCK dahulunya pernah direkodkan sebagai kawasan langit gelap yang sangat sesuai untuk pembinaan balai cerap dan penyelidikan astronomi (Umar et al. 2018). Walau bagaimanapun,

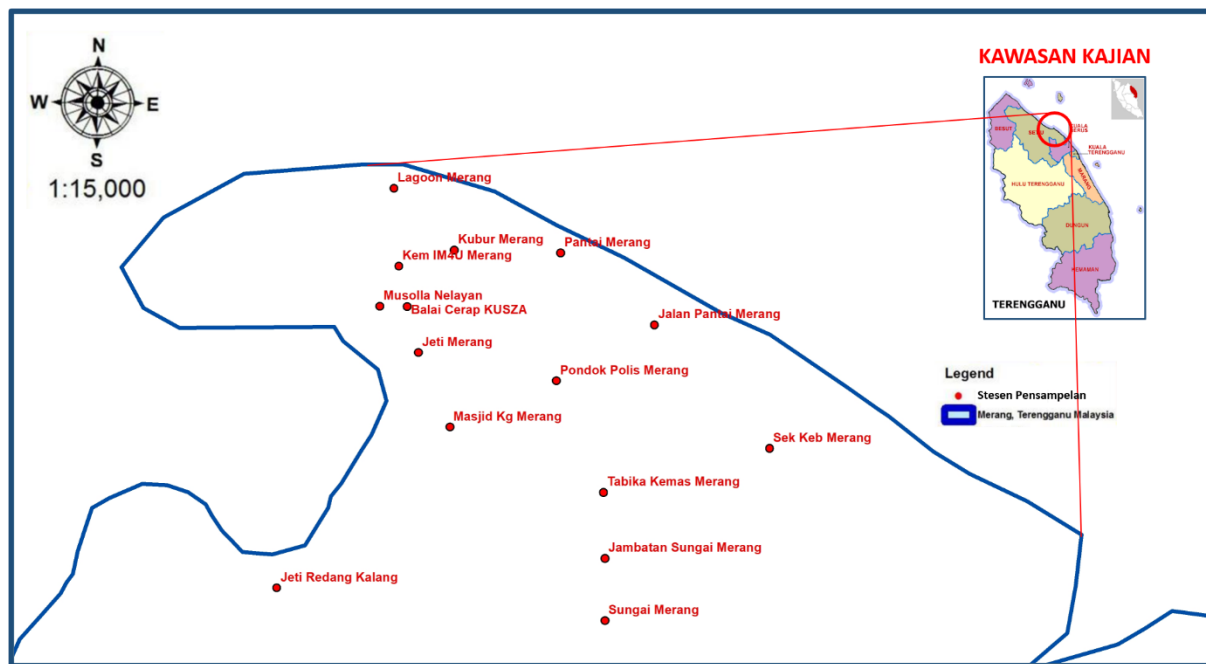
kawasan tersebut telah mula berubah akibat daripada pencemaran cahaya dan kini telah dikategorikan sebagai kawasan yang mempunyai indeks pencemaran cahaya kurang baik. Maka, adalah wajar satu peta magnitud kecerahan langit ini dibuat untuk rujukan masa hadapan, terutama untuk menyokong alasan pemilihan BCK sebagai lokasi mencerap (rukyah) anak bulan di Malaysia. Selain itu, peta ini akan berfungsi sebagai dokumen sejarah atau rekod tentang bagaimana kecerahan langit di sekeliling mempengaruhi kefungsi balai cerap untuk penyelidikan astronomi.

METOD

Kawasan Kajian

Balai Cerap KUSZA (BCK) yang terletak di Kampung Merang, Setiu Terengganu dipilih dalam kajian ini kerana ia menjadi lokasi cerapan hilal sejak tahun 80-an lagi. BCK menawarkan kemudahan pemerhatian objek langit di tapak kepada orang awam, pelajar dan para penyelidik bagi tujuan pendidikan, pengajaran dan penyelidikan berkaitan astronomi. Lokasi BCK ini sangat menarik dan strategik dengan halangan ufuk di barat dan timur di bawah dua darjah. Hasil keputusan kajian daripada projek penyelidikan yang dijalankan ini akan dijadikan rekod untuk rujukan masa hadapan bagi mengesan sebarang perubahan daripada segi magnitud kecerahan langit atau pencemaran cahaya. Dengan cara itu, tindakan segera boleh diambil bagi memastikan fungsi BCK kekal relevan pada masa hadapan dengan melakukan pemantauan terhadap kecerahan langit di kawasan sekitar lokasi tersebut. Ini bagi memastikan BCK kekal dalam julat langit gelap yang sesuai untuk aktiviti astronomi.

Lokasi cerapan magnitud kecerahan langit telah dibuat di 15 kawasan yang dipilih secara rawak berdasarkan akses jalan raya untuk setiap grid (Rajah 3). Lokasi kajian yang dipilih ditandakan oleh koordinat sistem navigasi berbasis satelit Sistem Kedudukan Global (GPS) seperti pada Jadual 1. Semasa pengumpulan data dijalankan, cerapan yang dilakukan mesti mematuhi tiga syarat utama iaitu (i) malam mestilah tanpa bulan atau apabila bulan berada di bawah ufuk, (ii) keadaan langit tidak berawan dan (iii) kawasan cerapan adalah dengan jarak minimum 100 meter daripada sumber cahaya terdekat. Syarat ini sangat penting untuk dipatuhi bertujuan mengurangkan ralat dan bias; seterusnya dapat memastikan bacaan yang diambil adalah tepat bagi menerangkan magnitud kecerahan langit sebenar untuk setiap lokasi (Tahar, Ahmad & Ismail 2020).



RAJAH 3. Kawasan kajian di sekitar BCK di Kampung Merang

JADUAL 1. Koordinat GPS bagi kawasan yang terpilih

No. Stesen	Tempat	Latitud (°)	Longitud (°)
1	Balai Cerap KUSZA	5.535511	102.946964
2	Sekolah Kebangsaan Merang	5.530188	102.960586
3	Jeti Redang Kalang	5.524947	102.942067
4	Sungai Merang	5.52372	102.954394
5	Jambatan Sungai Merang	5.526061	102.954394
6	Kubur Merang	5.537641	102.948736
7	Jeti Merang	5.533785	102.94739
8	(Musolla Nelayan) Kg Merang	5.535528	102.945934
9	Pantai Merang	5.537534	102.952733
10	Masjid Kg Merang	5.530987	102.948570
11	Tabika Kemas Merang	5.528539	102.954343
12	Jalan Pantai Merang	5.534832	102.956258
13	Pondok Polis Merang	5.532722	102.952573
14	Kem IM4U Merang	5.537036	102.946654
15	Lagoon Merang	5.539961	102.946469

Selain itu, BCK juga dipilih kerana ia terletak berhampiran dengan jeti peranginan Merang. Kawasan ini memainkan peranan penting bagi sektor ekonomi penduduk setempat yang kebanyakannya bekerja sebagai nelayan dan pekerja sektor pelancongan. Jeti ini merupakan pintu masuk ke Pulau Redang dan Pulau Perhentian yang popular dalam kalangan pelancong dalam dan luar negara untuk menjalankan aktiviti seperti menyelam dan selam snorkel. Jeti Merang juga mempunyai kemudahan asas seperti tempat letak kereta, tandas, kios menjual makanan dan minuman, serta kaunter tiket bagi memudahkan pelancong membeli tiket bot untuk ke pulau tersebut. Jarak BCK ke jeti Merang adalah lebih kurang 1 kilometer sahaja.

Peralatan dan cerapan

Data magnitud kecerahan langit direkod dengan menggunakan alat pengesan cahaya (SQM) versi *Unihedron*. Alatan versi ini dilengkapi lensa yang dilambangkan sebagai SQM-L. Berbanding versi lama, SQM versi baharu mempunyai apertur yang lebih luas dengan diameter medan pandang sebanyak 84° . Walau bagaimanapun, purata bacaan berdasarkan tindak balas sudut berlawanan peranti dengan luas penerimaan 55° dalam diameter (Cinzano 2005). Selain itu, versi peranti SQM-L turut menyediakan medan pandangan yang lebih bertumpu dengan menggunakan kanta kecil yang lebih mewakili kecerahan kawasan kecil. SQM-L mengehadakan pembukaan berasaskan diameter 20° pada Lebar Penuh pada Separuh Maksimum (FWHM) (Cinzano 2007; Patat 2003). Hasilnya, peningkatan ini memberikan data yang lebih tepat untuk merekodkan magnitud kecerahan langit di *zenit* yang digunakan dalam kajian ini.

Peranti SQM ini mempunyai tindak balas spektrum yang terbaik untuk jalur *V Johnson-Cousin*, dengan tindak balas memuncak pada panjang gelombang 550 nm (Cinzano, Falchi & Elvidge 2001). SQM menghasilkan bacaan dalam unit Magnitud per Square Arcsecond (mag arcsec^{-2}). Ini ialah unit yang biasa digunakan dalam astronomi yang merujuk kepada kecerahan objek yang diperhatikan. Sebagai rujukan, langit dengan magnitud yang lebih tinggi (contoh magnitud 22) merujuk kepada tapak yang lebih gelap, manakala magnitud yang lebih rendah (contoh magnitud 16) memberi maksud tapak yang lebih terang dan kurang sesuai untuk cerapan astronomi dibuat. Tapak gelap dengan bacaan SQM sebanyak $21 \text{ mag arcsec}^{-2}$ kepada $22 \text{ mag arcsec}^{-2}$ (bersamaan kepada $1.7 \times 10^{-4} \text{ cd m}^{-2}$) sesuai untuk cerapan galaksi Bima Sakti dengan mata kasar tanpa

bantuan alatan. Jaluran galaksi Bima Sakti ini tidak lagi dapat dilihat dengan mata kasar bermula daripada indeks kecerahan langit pada $19 \text{ mag arcsec}^{-2}$.

Data kecerahan langit diambil dengan menggunakan SQM di kesemua 15 titik cerapan terpilih dengan mengambil kira keadaan cuaca dan musim bertujuan meminimumkan kesan cuaca terhadap bacaan. Oleh itu, data tidak direkod semasa musim tengkujuh yang bermula daripada bulan Oktober sehingga Mac. Data kecerahan langit diambil di kawasan yang lapang dan bebas daripada pengaruh pencahayaan buatan. Cerapan dibuat selama 10 minit di setiap titik cerapan dengan sudut cerapan 90° (*zenit*).

Analisis Model Reruang

ArcGIS ialah program perisian yang digunakan untuk mencipta, memaparkan dan menganalisis data georuang. ArcGIS juga adalah sesuai untuk digunakan dalam analisis reruang dan penghasilan peta. Perisian ini selalunya diaplikasikan dalam perisian GIS (Bennie et al. 2014; Kamarudin et al. 2015). Pada asasnya, perisian ini digunakan untuk menggambarkan, mencipta, mengurus dan menganalisis data geografi dalam kajian ini. ArcGIS juga digunakan untuk meneroka data geografi yang merangkumi pengkategorian, perwakilan dan pelabelan ciri peta untuk meningkatkan gambaran dan tafsiran sesuatu pemetaan (Bernhardsen 1999). Penghasilan peta ialah langkah terakhir selepas semua proses perekodan data selesai.

Dalam kajian ini, kaedah yang digunakan untuk menghasilkan model reruang analisis ialah kaedah interpolasi. Interpolasi ialah teknik matematik yang membolehkan kita menganggar nilai lengkung pada sebarang kedudukan antara titik yang diketahui. Pengukuran medan memerlukan penukaran kepada ruang berterusan sebelum pemetaan dan analisis reruang boleh diambil tempat. Dalam kajian ini, teknik *Inverse Distance Weighted* (IDW) digunakan untuk menginterpolasi set data. IDW menggunakan pakai algoritma yang mampu menyelesaikan situasi yang melibatkan penggunaan data yang sentiasa berubah-ubah semasa interpolasi. Teknik ini akan menghitung nilai pada setiap nod grid dengan mengambil kira titik-titik data yang berada di dalam lingkungan nilai jejari yang ditetapkan oleh pengguna. Semua titik data boleh dimasukkan dalam proses interpolasi dan nilai nod grid ini diperolehi dengan cara jumlah wajaran semua mata. Interpolator IDW akan memastikan bahawa semua titik input mempunyai pengaruh setempat yang berkadar songsang dengan jarak. Ia terlebih dahulu akan mengambil kira titik yang

berdekatan dengan sel pemprosesan berbanding yang lebih jauh daripadanya. Nilai output setiap lokasi sentiasa ditentukan daripada titik dalam jejari yang ditentukan (Nozibul Haque et al. 2016).

Teknik *Natural Neighbor Inverse Distance Weighted* (NNIDW) iaitu kaedah yang menggunakan anggaran secara geometri juga digunakan dengan kedua-dua teknik interpolasi dan ekstrapolasi boleh diguna pakai dengan titik bertaburan berkelompok. Teknik purata wajaran ialah persamaan asas yang akan digunakan dalam interpolasi NNIDW, seperti yang digunakan dalam teknik interpolasi IDW. Kaedah ini memerlukan kemahiran dalam mengendalikan data input dalam jumlah yang besar. Tambahan pula, IDW adalah berdasarkan anggaran dan andaian tentang nilai yang diberikan pada titik tanpa sampel dalam beberapa jarak yang telah ditetapkan atau daripada set nombor yang diberikan. Faktor pemberat adalah berkaitan dengan jarak (Kazemi et al. 2016; Nozibul Haque et al. 2016) melalui persamaan;

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}}$$

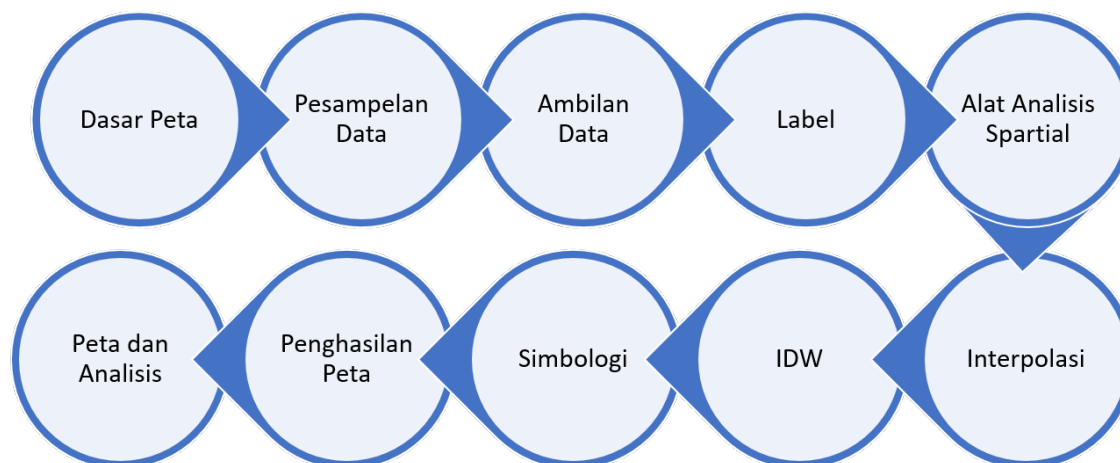
dengan λ_i , D_i , i dan α ialah berat titik, jarak antara titik, titik yang tidak diketahui dan kuasa sepuluh pemberat (Alvarado et al. 2016; Kazemi et al. 2016; Mahdian et al. 2001; Ngetich et al. 2014). Secara ringkas, Rajah 4 menunjukkan rangka kerja model ruang magnitud

kecerahan langit di sekitar BCK, Kampung Merang Setiu, Terengganu.

ANALISIS DAN PERBINCANGAN

Magnitud kecerahan langit merupakan parameter utama yang telah dikumpul daripada kaedah persampelan yang menggunakan ukuran *in-situ*. Semasa persampelan, 15 lokasi cerapan telah digunakan untuk mengumpul data bagi menganalisis kecerahan langit. Data tentang kecerahan langit dikumpul pada waktu malam bermula dari pukul 10.30 malam sehingga 4.00 pagi. Data yang dikumpul disenaraikan dalam Jadual 2 menunjukkan bahawa magnitud kecerahan langit yang paling gelap ialah Musolla Nelayan, Kg. Merang iaitu 21.39 mag arcsec⁻² dalam Johnson Cousins V -band (Garstang 1989), nilainya adalah setara dengan 3.002×10^{-4} cd m⁻². Ini diikuti oleh BCK dengan nilai magnitud 21.34 mag arcsec⁻² (3.144×10^{-4} cd m⁻²).

Berdasarkan Rajah 5, kawasan yang mempunyai kecerahan langit paling tinggi adalah di Jeti Merang (Stesen no. 7), dengan bacaan pencemaran cahaya yang tinggi iaitu 16.35 mag arcsec⁻² (3.115×10^{-2} cd m⁻²). Kawasan ini merekodkan magnitud kecerahan yang tinggi kerana ia dipasang dengan lampu jalan untuk tujuan keselamatan (Davies et al. 2014; Gaston et al. 2012). Selain itu, terdapat juga bangunan, tempat letak kereta dan kenderaan yang menyumbang kepada cahaya buatan di persekitaran lokasi tersebut.



RAJAH 4. Rangka kerja model ruang magnitud kecerahan langit sekitar BCK

JADUAL 2. Magnitud simulasi dan pemerhatian di BCK dan kawasan sekitarnya

No.	Tempat	(mag arcsec ⁻²)		Candela (cd m ⁻²)		Perbezaan nilai pemerhatian dan simulasi (%)
		Simulasi	Pemerhatian	Simulasi	Pemerhatian	
1	Balai Cerap KUSZA	21.28	21.34	3.322×10 ⁻⁴	3.144×10 ⁻⁴	0.28
2	Sek Keb Merang	21.39	20.25	3.002×10 ⁻⁴	8.579×10 ⁻⁴	5.63
3	Jeti Redang Kalang	21.34	20.37	3.144×10 ⁻⁴	7.681×10 ⁻⁴	4.76
4	Sungai Merang	21.31	20.71	3.232×10 ⁻⁴	5.616×10 ⁻⁴	2.90
5	Jambatan Sungai Merang	21.31	20.44	3.232×10 ⁻⁴	7.202×10 ⁻⁴	4.26
6	Kubur Merang	21.46	19.58	2.815×10 ⁻⁴	1.590×10 ⁻³	9.60
7	Jeti Merang	21.28	16.35	3.322×10 ⁻⁴	3.115×10 ⁻²	30.15
8	(Musolla Nelayan) Kg Merang	21.28	21.39	3.322×10 ⁻⁴	3.002×10 ⁻⁴	0.51
9	Pantai Merang	21.46	21.22	2.815×10 ⁻⁴	3.511×10 ⁻⁴	1.13
10	Masjid Kg Merang	21.28	20.92	3.322×10 ⁻⁴	4.628×10 ⁻⁴	1.72
11	Tabika Kemas Merang	21.31	20.08	3.232×10 ⁻⁴	1.003×10 ⁻³	6.13
12	Jalan Pantai Merang	21.20	21.04	3.576×10 ⁻⁴	4.144×10 ⁻⁴	0.76
13	Pondok Polis Merang	21.20	16.53	3.576×10 ⁻⁴	2.639×10 ⁻²	28.25
14	Kem IM4U Merang	21.28	18.07	3.322×10 ⁻⁴	6.389×10 ⁻³	17.76
15	Lagoon Merang	21.46	21.33	2.815×10 ⁻⁴	3.173×10 ⁻⁴	0.61

Bahagian selatan dan tenggara sekitar balai cerap iaitu Stesen no. 12 dan Stesen no. 13 pula menunjukkan bacaan dengan nilai 21.04 mag arcsec⁻² dan 16.53 mag arcsec⁻² bersamaan nilai candela 4.114×10⁻⁴ cd m⁻² dan 2.639×10⁻² cd m⁻². Manakala di sebelah utara iaitu Pantai Merang, Stesen no.9 menunjukkan nilai bacaan 21.22 mag arcsec⁻² dengan bacaan candela 3.511×10⁻⁴ cd m⁻². Bacaan ini menunjukkan bahawa kawasan tersebut adalah terpelihara daripada masalah pencemaran cahaya.

Secara keseluruhannya, data yang diperoleh boleh dibahagikan kepada tiga kategori berbeza. Kategori pertama paling terang (pencemaran tinggi) diwakili oleh Stesen no. 6, Stesen, no. 7, Stesen no. 13 dan Stesen no. 14 (Kubur Merang, Jeti Merang, Pondok Polis Merang dan Kem IM4U Merang) dengan keseluruhan purata kecerahan kira-kira 17.63 mag arcsec⁻² atau dalam unit candela bersamaan 9.581×10⁻³ cd m⁻². Untuk kategori sederhana iaitu Stesen no. 2, Stesen no. 3, Stesen no. 4,

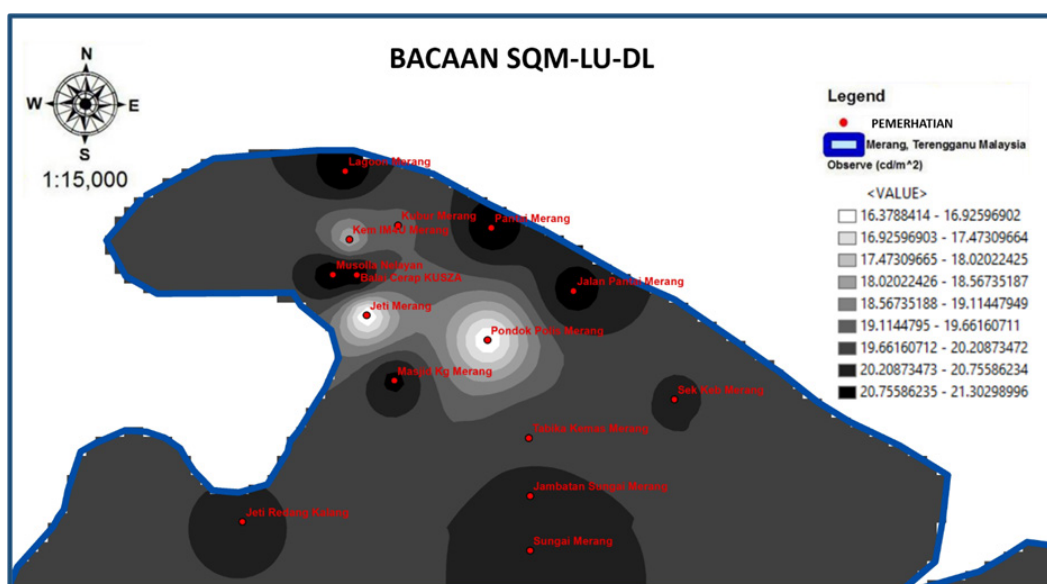
Stesen no. 5, Stesen no. 10 dan Stesen no. 11 (Sek. Keb Merang, Jeti Redang Kalang, Sungai Merang, Jambatan Sungai Merang, Masjid Kg Merang dan Tabika Kemas Merang) mempunyai nilai purata nilai 20.4 mag arcsec⁻² atau dalam unit candela bersamaan 7.472×10⁻⁴ cd m⁻². Manakala purata bagi kategori lokasi paling gelap (pencemaran cahaya minimum) ialah 21.26 mag arcsec⁻² atau dalam unit candela bersamaan 3.384×10⁻⁴ cd m⁻². Katogeri gelap terdiri daripada Stesen no. 1, Stesen no. 8, Stesen no. 9, Stesen no. 11, Stesen no. 12 dan Stesen no. 15 (BCK, Musolla Nelayan, Pantai Merang, Jalan Pantai Merang dan Lagoon Merang).

Hasil daripada pengumpulan data ini, satu model taburan reruang telah dibangunkan menggunakan kaedah interpolasi untuk menggambarkan kepekatan kecerahan langit di BCK dan kawasan sekitarnya. Hasilnya, taburan kecerahan langit dapat dilihat dengan jelas seperti yang digambarkan dalam Rajah 5 dan 6. Warna lebih gelap pada peta GIS menunjukkan magnitud yang lebih tinggi

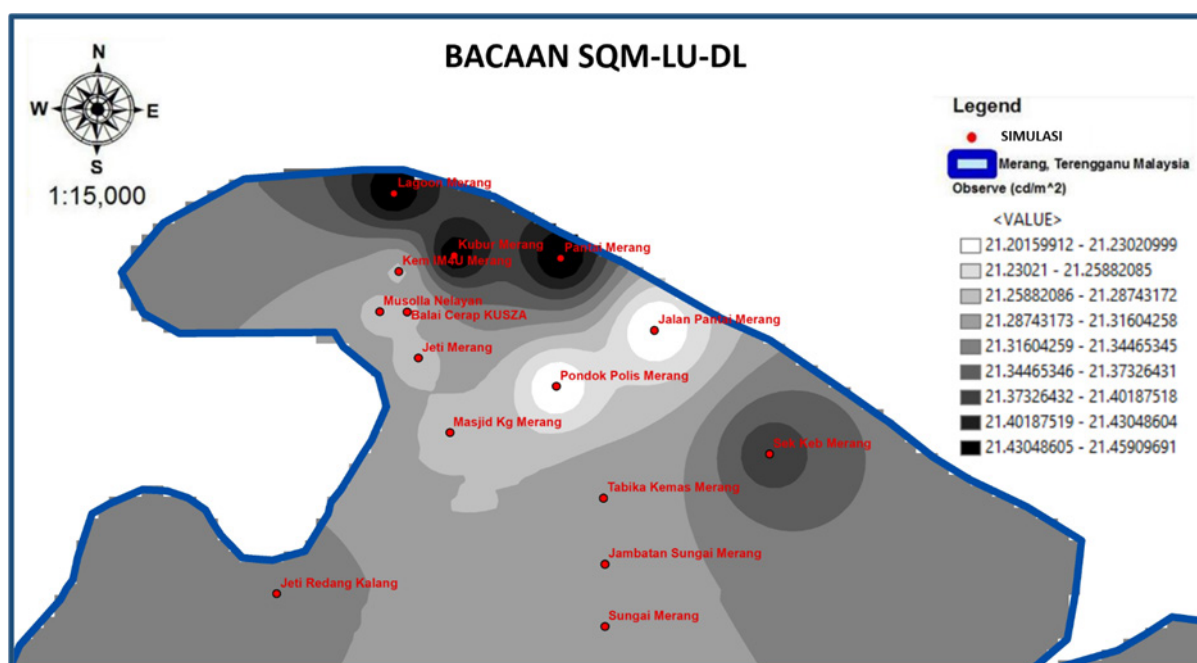
dan warna peta menjadi lebih cerah apabila magnitud berkurang (yang menunjukkan lebih besar pencemaran cahaya).

Data yang diperoleh pada tahun 2022 juga dibandingkan dengan data yang direkod pada tahun 2017 dan 2018 (Rajah 7). Hasil perbandingan menunjukkan Stesen no. 6, Stesen no. 7 dan Stesen no. 8 mengalami peningkatan pencemaran cahaya. Sebagai perbandingan, Rajah 6 merupakan pemetaan GIS menggunakan data yang diambil daripada satelit. Oleh itu, terdapat sedikit perbezaan nilai data yang

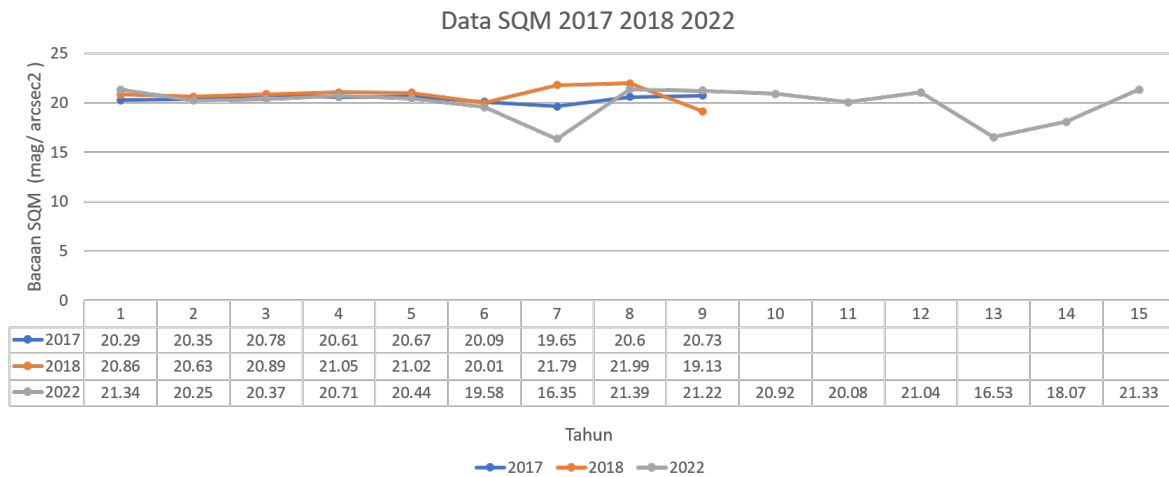
dicerap berbanding nilai simulasi (sila rujuk peratus nilai perbezaan dalam Jadual 2) disebabkan oleh keadaan berawan dan pencemaran cahaya di sekitar kawasan cerapan semasa pengambilan data dilakukan. Data simulasi yang diperoleh daripada satelit hanya menggambarkan kecerahan bumi dari luar atmosfera menyebabkan ralat perbezaan berlaku. Berbanding data cerapan *in-situ*, ia menunjukkan kecerahan langit sebenar dari muka bumi. Kajian lanjut untuk membandingkan beza nilai cerapan simulasi dan pemerhatian ini boleh dibuat pada masa akan datang.



RAJAH 5. Model ruang berdasarkan data yang diambil di lokasi terpilih menggunakan peralatan SQM



RAJAH 6. Model ruang menggunakan data simulasi
Sumber: <https://www.lightpollutionmap.info/>



RAJAH 7. Perbandingan data SQM yang diambil pada tahun 2017, 2018 dan 2022

Menurut kajian yang dijalankan oleh Tahar et al. (2017) terhadap magnitud kecerahan langit di sekitar Balai Cerap Negara Langkawi (LNO), kawasan yang paling gelap mencatatkan nilai 21.65 mag arcsec⁻² manakala kawasan yang paling terang adalah 20.4 mag arcsec⁻². Jika dibandingkan dengan BCK, perbezaan nilai kawasan yang paling gelap adalah tidak begitu jauh (21.39 mag arcsec⁻² di Musolla Nelayan Kg. Merang). Walau bagaimanapun, pencemaran cahaya di BCK adalah lebih tinggi berbanding LNO memandangkan bacaan kawasan paling terang adalah 16.35 mag arcsec⁻² berbanding 20.40 mag arcsec⁻² di LNO. Di sekitar kawasan Balai Cerap Teluk Kemang pula, bacaan yang dilaporkan oleh Faid et al. (2016) ialah 19.28 mag arcsec⁻². Jika dibandingkan, kadar pencemaran cahaya di Balai Cerap Teluk Kemang adalah yang paling tinggi di antara ketiga-tiga balai cerap.

Secara asasnya, pencemaran cahaya adalah sangat tidak baik untuk manusia dan ekosistem semula jadi. Penjagaan dan pengendalian kawasan yang terlindung daripada pencemaran cahaya sangat penting bukan sahaja untuk bidang astronomi, tetapi juga membantu kelestarian hidupan liar termasuk amfibia, burung, mamalia, serangga dan tumbuhan. Bukti saintifik menunjukkan bahawa cahaya buatan mempunyai kesan negatif terhadap alam sekitar dan ekologi (Rich & Longcore 2013).

Walaupun bagaimanapun, teknologi sistem pencahayaan pintar boleh digunakan untuk membantu mengurangkan pencemaran cahaya di langit (Schulte-Römer et al. 2019). Teknologi ini didapati berkeupayaan untuk memastikan magnitud cahaya di langit kekal relevan terutama

bagi membolehkan penyelidikan berkaitan astronomi dilaksanakan. Selain itu, kesedaran terhadap bahaya pencemaran cahaya dalam kalangan masyarakat juga perlu sentiasa dipupuk. Sifat cakna terhadap kepentingan menjaga kelestarian alam boleh menjadi platform yang akan menghubungkan pelbagai kumpulan dan orang perseorangan yang berkongsi minat dan matlamat yang sama (contohnya sekumpulan profesional dalam bidang pencahayaan dan astronomi). Mereka ini seterusnya boleh bekerjasama dalam menggembelng tenaga dan idea untuk membangunkan bahan pendidikan (contoh pameran dan poster) bagi memberi informasi dan maklumat berkaitan pencemaran cahaya kepada masyarakat umum. Selain itu, ia turut akan membantu pihak berkuasa dalam membuat garis panduan dan peraturan yang berkaitan dengan amalan yang baik dalam pencahayaan buatan. Hasilnya, informasi ini akan bertindak sebagai pemacu industri dalam membangunkan teknologi pencahayaan yang lebih cekap dan mesra alam selaras dengan kehendak piawaian antarabangsa.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian ini, model ruang bagi magnitud kecerahan langit di sekitar BCK menunjukkan taburan jelas dengan lokasi balai cerap masih dalam kategori kawasan gelap atau kurang pencemaran cahaya. Kajian ini sangat penting untuk memberi justifikasi sama ada lokasi BCK ini masih boleh diterima pakai sebagai lokasi cerapan astronomi atau tidak. Secara keseluruhannya, lokasi kajian ini masih relevan untuk kegunaan cerapan astronomi kerana nilainya masih dalam toleransi yang

boleh diterima. Walau bagaimanapun, berdasarkan hasil kajian, pihak berkuasa boleh mengambil tindakan selanjutnya bagi mengurangkan pencemaran cahaya. Sebagai contoh, kerajaan boleh menggubal peraturan baharu untuk mengurangkan penggunaan cahaya buatan kerana ia akan memberi kesan besar kepada persekitaran semula jadi pada masa hadapan. Dalam kajian ini, walaupun BCK masih berada dalam lokasi paling gelap, namun pemantauan daripada pihak berkuasa adalah diperlukan.

Memandangkan Jeti Merang merupakan antara destinasi pelancongan antarabangsa ke Pulau Redang dan Pulau Perhentian di Malaysia, pihak berwajib perlu memantau serta merancang sekiranya ingin membina bangunan pada masa akan datang dengan mengambil kira isu pencemaran cahaya (kecerahan langit) seperti pemilihan jenis lampu dan cara pemasangan kedudukan sudut lampu. Hasil kajian ini diharap dapat membantu pihak berkuasa tempatan di Merang, Setiu supaya merancang pembangunan masa hadapan di Merang, Setiu sebaiknya.

PENGHARGAAN

Penulis berterima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi (KPT), Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS) iaitu FRGS/1/2023/STG07/UNISZA/02/1, Institut penyelidikan Alam Sekitar Pantai Timur (ESERI), UnisZA atas kemudahan penyelidikan yang disediakan dan kumpulan Penyelidikan EMRG yang banyak membantu dalam menyiapkan kajian ini.

RUJUKAN

- Abd Mutalib, A.H., Fadzly, N., Ahmad, A. & Nasir, N. 2015. Understanding nesting ecology and behaviour of green marine turtles at Setiu, Terengganu, Malaysia. *Mar. Ecol.* 36: 1003-1012. <https://doi.org/10.1111/maec.12197>
- Abidin, Z.Z., Umar, R., Ibrahim, Z.A., Rosli, Z., Asanok, K. & Gasiprong, N. 2013. Investigation on the frequency allocation for radio astronomy at the L band. *Publications of the Astronomical Society of Australia* 30: e047.
- Alvarado, A., Esteller, M.V., Quentin, E. & Expósito, J.L. 2016. Multi-criteria decision analysis and GIS approach for prioritization of drinking water utilities protection based on their vulnerability to contamination. *Water Resources Management* 30: 1549-1566.
- Bennie, J., Davies, T.W., Inger, R. & Gaston, K.J. 2014. Mapping artificial lightscapes for ecological studies. *Methods in Ecology and Evolution* 5(6): 534-540.
- Bernhardsen, T. 1999. *Geographic Information System. An Introduction*. New York: John Wiley & Sons.
- Cinzano, P. 2007. Report on sky quality meter, version 1. *ISTIL Int. Report*.
- Cinzano, P. 2005. Night sky photometry with sky quality meter. *ISTIL Int. Rep.* 9(1).
- Cinzano, P., Falchi, F. & Elvidge, C.D. 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328(3): 689-707.
- Davies, T.W., Duffy, J.P., Bennie, J. & Gaston, K.J. 2014. The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 12(6): 347-355.
- Faid, M.S., Husien, N., Shariff, N.N.M., Ali, M.O., Hamidi, Z.S., Zainol, N.H. & Sabri, S.N.U. 2016. Monitoring the level of light pollution and its impact on astronomical bodies naked-eye visibility range in selected areas in Malaysia using the sky quality meter. *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA)*. pp. 1-6.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C.C.M., Elvidge, C.D., Baugh, K., Portnov, B.A., Rybnikova, N.A. & Furgoni, R. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2(6): e1600377.
- Garstang, R.H. 1989. Night sky brightness at observatories and sites. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 101(637): 306.
- Gaston, K.J., Davies, T.W., Bennie, J. & Hopkins, J. 2012. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: Options and developments. *Journal of Applied Ecology* 49(6): 1256-1266.
- Idris, S.M.M. 2017. Move to legislate light pollution. *The Star*. <https://www.thestar.com.my/opinion/letters/2018/10/09/move-to-legislate-light-pollution/>
- International Dark Sky Reserve. DarkSky International. https://darksky.org/what-we-do/international-dark-sky-places/all-places/?_select_a_place_type=international-dark-sky-reserve (akses pada 6 September 2023).
- Kamarudin, M.K.A., Toriman, M.E., Rosli, M.H., Juahir, H., Aziz, N.A.A., Azid, A., Mohamed Zainuddin, S.F. & Sulaiman, W.N.A. 2015. Analysis of meander evolution studies on effect from land use and climate change at the upstream reach of the Pahang River, Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20: 1319-1334.
- Kazemi, H., Sadeghi, S. & Akinci, H. 2016. Developing a land evaluation model for faba bean cultivation using geographic information system and multi-criteria analysis (A case study: Gonbad-Kavous region, Iran). *Ecological Indicators* 63: 37-47.
- Mahdian, M.H., Hosseini, E. & Matin, M. 2001. Investigation of spatial interpolation methods to determine the minimum error of estimation: Case study, temperature and evaporation. *Proc. 6th Int. Conf. GeoComputation*. Vol. 24.
- Model Lighting Ordinance (MLO). 2011. International Dark Sky Association (IDA) and the Illuminating Engineering Society of North America (IES).
- Navara, K.J. & Nelson, R.J. 2007. The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43(3): 215-224.

- Ngetich, K.F., Mucheru-Muna, M., Mugwe, J.N., Shisanya, C.A., Diels, J. & Mugendi, D.N. 2014. Length of growing season, rainfall temporal distribution, onset and cessation dates in the Kenyan highlands. *Agricultural and Forest Meteorology* 188: 24-32.
- Nozibul Haque, M., Shahid, S., Keramat, M. & Mohsenipour, M. 2016. GIS integration of hydrogeological and geoelectrical data for groundwater potential modeling in the western part of greater Kushtia district of Bangladesh. *Water Resources* 43: 283-291.
- Patat, F. 2003. UVBRI night sky brightness during sunspot maximum at ESO-Paranal. *Astronomy & Astrophysics* 400(3): 1183-1198.
- Rich, C. & Longcore, T. 2013. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington: Island Press.
- Rodrigo-Comino, J., Seeling, S., Seeger, M.K. & Ries, J.B. 2021. Light pollution: A review of the scientific literature. *The Anthropocene Review* 10(2): 367-392.
- Sabri, N.H., Umar, R., Mokhtar, W.W., Adli, W.Z., Abidin, Z.Z., Ibrahim, Z.A., Azid, A., Juahir, H., Toriman, M.E. & Kamarudin, M.K.A. 2015. Preliminary study of vehicular traffic effect on radio signal for radio. *Jurnal Teknologi* 75(1): 313-318.
- Schulte-Römer, N., Meier, J., Söding, M. & Dannemann, E. 2019. The LED paradox: How light pollution challenges experts to reconsider sustainable lighting. *Sustainability* 11: 6160. <https://doi.org/10.3390/su11216160>
- Schwarz, H.E. 2003. *Light Pollution: The Global View*. Vol. 284. Springer Science & Business Media.
- Stachowitsch, M. 2023. Timescales and perspectives are relative: shifting baselines and sea turtles. In: *Mathematics Online First Collections*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/16618_2022_41
- Tahar, M.R., Ahmad, N. & Ismail, N.U.R.H. 2020. Identifying light pollution sources at two major observatories in Malaysia. *Sains Malaysiana* 49(2): 439-445.
- Tahar, M. R., Kamarudin, F., Umar, R., Kamarudin, M. K. A., Sabri, N. H., Ahmad, K., Abdul Rahim, S. & Baharim, M.S.A. 2017. Spatial model of sky brightness magnitude in Langkawi Island, Malaysia. *Research in Astronomy and Astrophysics* 17(4): 037.
- Umar, R., Abidin, Z.Z., Ibrahim, Z.A., Rosli, Z. & Noorazlan, N. 2014. Selection of radio astronomical observation sites and its dependence on human generated RFI. *Research in Astronomy and Astrophysics* 14(2): 241.
- Umar, R., Awang, W.J., Berzanji, S.N., Abd Majed, N.F., Kamarudin, M.K.A. & Abdullahi, M.G. 2018. Spatial Model of sky brightness magnitude in KUSZA observatory, UniSZA. *International Journal of Engineering & Technology* 7(2.15): 13-18.
- Umar, R., Hazmin, S.N., Abidin, Z.Z. & Ibrahim, Z.A. 2015. How to deal with radio astronomy interference. *천문학회논문지* 30(2): 691-693.
- Yusri, Y., Karim, O.A., Toriman, M.E. & Kamarudin, M.K.A. 2009. Aplikasi GIS dan simulasi banjir Sungai Siak Pekanbaru menggunakan XP-SWMM. *Semesta Teknika* 12(2): 157-166.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: roslan@unisza.edu.my