

Artike

Implikasi Perubahan Guna Tanah Ke Atas Regim Hidrologi di Sungai Batang Jerlang, Negeri Sembilan

(Implications of Land Use Changes on the Hydrological Regime in Batang Jerlang River, Negeri Sembilan)

Cheah Choi Wan, Frankie Marcus Ata*, Mohd Sharmizi Shaferi, Mohd Ikhwan Toriman & Zhao Lin

Pusat Kajian Pembangunan, Sosial dan Persekitaran (SEEDS), Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

*Pengarang Koresponden: frankie@ukm.edu.my

Diserah: 15 Disember 2024

Diterima: 15 Februari 2025

Abstrak: Fenomena ketidakseimbangan imbangan air dalam kitaran hidrologi menjadi cabaran utama dalam memastikan ekosistem lembangan sungai kekal terpelihara. Implikasi terhadap ketidakseimbangan telah menyebabkan kejadian bencana seperti banjir dan kemusnahan ekosistem semula jadi sungai. Faktor aktiviti guna tanah dan perubahan litupan tanah menjadi punca kepada ketidakseimbangan yang berlaku khususnya air larian. Perubahan guna tanah telah meningkatkan kadar air larian permukaan dan menyumbang kepada kejadian banjir setempat. Kajian ini meneliti perubahan guna tanah dalam tempoh 10 tahun (2012–2022) serta kesannya terhadap penghasilan air larian di lembangan sungai Batang Jerlang, Negeri Sembilan. Data hujan selama 26 tahun dianalisis menggunakan kaedah Normal dan Gumbel serta analisis air larian menggunakan kaedah Rasional berdasarkan ARI 2, 5, 10, 50, dan 100 tahun. Data spatial guna tanah dianalisis menggunakan perisian ArcGIS. Hasil kajian menunjukkan guna tanah jenis hutan dan badan air mengalami pengurangan sebanyak 6.92% dan 0.092%, manakala pertanian dan perlombongan mencatatkan peningkatan masing-masing sebanyak 5.01% dan 1.196%. Perubahan guna tanah telah meningkatkan tahap ketepuan kawasan (Nilai Koefisien) daripada 0.421 kepada 0.425 dalam tempoh 10 tahun. Akibatnya, kadar air larian permukaan meningkat daripada 0.67 m³/s pada kala ulang 2 tahun kepada 1.25 m³/s pada kala ulang 100 tahun. Peningkatan kadar air larian permukaan menyebabkan ciri hidraulik dan hidrologi lembangan mengalami gangguan. Justeru, pengurusan lembangan sungai bersepadu perlu diperkasakan bagi mengawal peningkatan air larian dan memastikan lembangan Batang Jerlang terus membekalkan sumber air bersih serta ekosistem sungai terus terpelihara. Pemantauan dan pengawalan oleh pihak berkuasa perlu diperluaskan bagi memastikan kesinambungan fungsi ekosistem lembangan.

Kata kunci: Air larian permukaan; kaedah rasional; guna tanah; perubahan iklim; pengurusan alam sekitar

Abstract: The phenomenon of water balance imbalance in the hydrological cycle poses a major challenge in ensuring the preservation of river basin ecosystems. The implications of this imbalance have led to disasters such as floods and the destruction of natural river ecosystems. Factors such as land use activities and land cover changes are the main causes of the imbalance, particularly in surface runoff. Land use changes have increased the rate of surface runoff and contributed to localized flooding events. This study examines land use changes over a 10-year period (2012–2022) and their effects on surface runoff generation in the Batang Jerlang river basin, Negeri Sembilan. Rainfall data spanning 26 years were analyzed using the Normal and Gumbel methods, while runoff analysis employed the Rational Method based on ARI (Average Recurrence Interval) of 2, 5, 10, 50, and 100 years. Spatial land use data were analyzed using ArcGIS software. The results show

that forest and water body land use decreased by 6.92% and 0.092%, respectively, while agricultural and mining land use increased by 5.01% and 1.196%, respectively. Land use changes increased the area saturation level (Coefficient Value) from 0.421 to 0.425 over the 10-year period. Consequently, the surface runoff rate increased from 0.67 m³/s for a 2-year return period to 1.25 m³/s for a 100-year return period. The increase in surface runoff disrupts the hydraulic and hydrological characteristics of the basin. Therefore, integrated river basin management must be strengthened to control the rise in runoff and ensure that the Batang Jerlang basin continues to supply clean water sources and preserve the river ecosystem. Monitoring and regulation by the authorities must be expanded to ensure the sustainability of basin ecosystem functions.

Keywords: Runoff; rational methods; land use; climate change environmental management

Pengenalan

Mutakhir ini, prosesimbangan air yang merupakan elemen penting dalam bidang hidrologi, sering diabaikan terutama dalam membangunkan sesebuah kawasan. Keseimbangan air berlaku apabila jumlah air yang turun ke sesebuah kawasan sama dengan jumlah air yang naik semula ke atmosfera (Qiong et al., 2018). Hal ini dikatakan demikian kerana, bukti nyata telah berlaku dan dirasakan oleh penghuni bumi apabilaimbangan air yang tidak seimbang telah mengakibatkan fenomena bencana seperti kemarau dan banjir. Fenomena banjir sering hangat dibicarakan dan disebarkan melalui media massa yang menjadi bukti bahawa telah berlaku ketidakseimbangan dalam kitaranimbangan air dunia sehingga berlakunya perubahan dalam ciri hidrolik sungai. Natijahnya, pelbagai bencana yang berlaku menjadi semakin ekstrem berbanding kejadian sebelumnya. Perubahan kejadian bencana yang semakin ekstrem juga didorong oleh faktor pemecut iaitu perubahan litupan dan guna tanah yang dilakukan oleh manusia (Noorjima et al., 2019, Takele et al., 2023).

Fokus utama kemajuan dan perkembangan sesebuah wilayah atau negara adalah berdasarkan kemajuan dalam sektor ekonomi dan sosialnya (Mohamad Ridzuan et al., 2020) Bagi mencapai status kemajuan tersebut aktiviti pembangunan baharu dan lama dalam pelbagai bidang dikembangkan dengan drastik. Namun begitu, kealpaan dalam mengenal pasti impak terhadap pembangunan yang dijalankan menyebabkan kehadiran bencana yang tidak terduga oleh penduduk dan persekitarannya (Nur Fathira Aimi et al., 2023). Selain itu, degradasi alam sekitar wujud apabila manusia membangunkan sesuatu kawasan yang mempunyai nilai-nilai ekonomi hasil daripada sumber alam yang terdapat di dalamnya (Imaaduddin., 2020). Pembangunan yang pesat, tanpa kawalan dan tidak mesra alam telah menyebabkan regim hidrologi khususnya air larian permukaan mengalami perubahan dan menyebabkan peningkatan kejadian banjir (Frankie et al., 2023).

Peningkatan terhadap pola perubahan guna tanah dan litupan tanah saban tahun telah menyebabkan pelbagai fenomena bencana berlaku antaranya banjir. Banjir yang melanda sesebuah kawasan sering kali dikaitkan dengan kegagalan sistem sungai serta gangguan terhadap proses hidrologi (Bruno et al., 2021). Oleh yang demikian, menjadi maklumat dan data asas yang perlu pada kajian masa hadapan menjadi faktor utama kajian ini dijalankan kerana kawasan kajian yang dipilih telah mengalami perubahan corak litupan tanah yang pesat serta berada pada kawasan yang menjadi tadahan sumber air bersih bagi penggunaan domestik di sekitarnya. Penelitian terhadap kaedah rasional dalam penilaian kadar perubahan kadar air larian dilihat amat penting khususnya bagi kawasan yang berskala kecil. Namun begitu, masih terdapat banyak kaedah yang boleh diguna pakai dalam menilai penghasilan air larian permukaan antaranya HEC-HMS, SCS-CN dan kaedah lainnya (Frankie et al., 2023) tetapi keterbatasan sumber data seperti data hidrologi tanah menjadikan kajian ini hanya menggunakan kaedah rasional untuk menilai kadar perubahan air larian akibat perubahan guna tanah di kawasan lembangan. Oleh yang demikian, kajian implikasi perubahan guna tanah ke atas regim hidrologi di kawasan lembangan sungai Batang Jerlang telah dilakukan untuk menyiasat secara terperinci implikasi guna tanah terhadap persekitaran fizikal dan manusia serta cadangan dalam memastikan kelestarian lembangan sungai terus terpelihara.

Sorotan Literatur

1. Imbangan Air

Imbangan air merujuk kepada keseimbangan antara jumlah air yang diterima dari atmosfera dengan jumlah air yang keluar ke atmosfera (Frankie et al., 2015). Jumlah air yang diterima oleh permukaan bumi dalam bentuk kerpasan seperti hujan, embun dan salji adalah sama banyaknya dengan yang akan dibebaskan semula ke atmosfera menerusi proses sejatapeluhan, sejatan akan mengalami larian permukaan dan juga yang disimpan di dalam tanah sebagai storan (Nur Munirah et al., 2013). Terdapat beberapa faktor yang boleh mempengaruhi imbangan air antaranya topografi kawasan, saiz lembangan, hujan, litupan tumbuhan serta jenis lapisan permukaan tanah (Hadis et al., 2023). Kesemua faktor tersebut dapat menyebabkan gangguan terhadap komponen imbangan air apabila mengalami perubahan corak dan jenis. Mutakhir ini, masalah gangguan imbangan air telah menjadi sorotan umum apabila implikasinya telah menyebabkan risiko dan kejadian bencana yang menyebabkan ekosistem semulajadi kawasan terganggu. Masalah lebihan dan kurang air merupakan punca ketidakseimbangan terbukti berlaku. Misalnya, kejadian banjir, banjir kilat, peningkatan suhu dan kemarau.

2. Guna Tanah

Pengubahsuaian ke atas permukaan bumi yang melibatkan landskap semula jadi disebut sebagai perubahan guna tanah (Eric & Patrick, 2010; Mohd Khairul Amri et al., 2014). Perubahan guna tanah mempunyai korelasi yang positif terhadap proses hidrologi dalam sesebuah lembangan sungai. Perubahan guna tanah merupakan antara komponen penting yang menyumbang kepada perubahan imbangan air global seperti perubahan hujan, kadar penyusupan dan air larian permukaan (Sangam et al., 2018). Jenis guna tanah dikategorikan mengikut pengelasan tertentu supaya dapat dilakukan pemantauan terhadap perubahan dan kehilangan tanah (Sabariah & Kadaruddin, 2023). Penggunaan tanah yang optimum dapat menghasilkan implikasi yang signifikan kepada regim hidrologi lembangan. Seterusnya, perubahan guna tanah merupakan suatu fenomena perubahan persekitaran fizikal yang berlaku akibat daripada tindakan manusia melalui pelbagai cara antaranya adalah aktiviti pembangunan, pertanian, pembalakan, perlombongan dan aktiviti lainnya (Donizeti & Edson, 2023). Penggunaan tanah boleh mengakibatkan perubahan fungsi dari masa ke masa dengan tujuan pembangunan (Mohd Ekhwan, 2010). Keadaan perubahan guna tanah boleh dilihat dengan perubahan yang berlaku terhadap ciri biofizikal yang telah berubah akibat manipulasi manusia (Hassan et al., 2017).

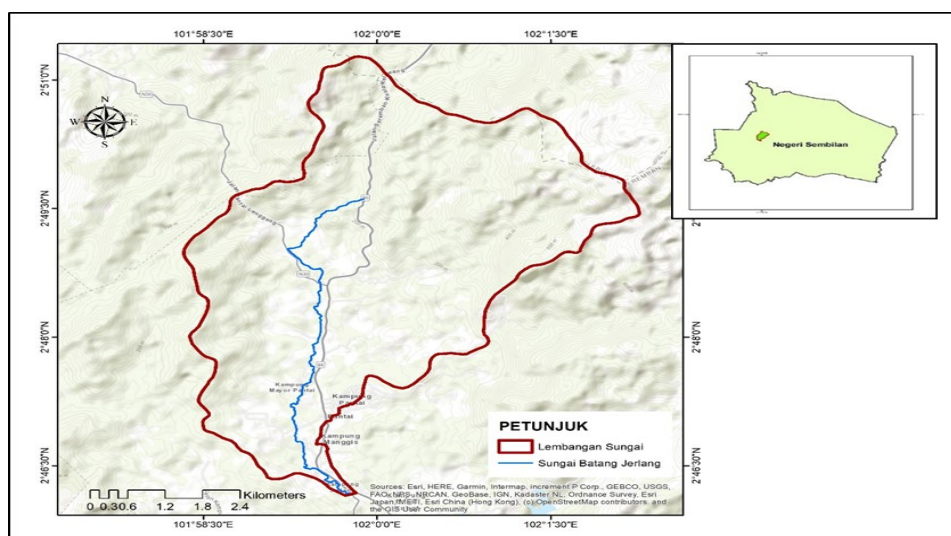
3. Air Larian Permukaan

Air larian permukaan ialah baki air hujan yang mengalir di permukaan bumi setelah ditolak sejatan, pintasan, resapan dan yang digunakan oleh tumbuhan. Ia berlaku setelah semua liang pori tanah tepu dengan air yang menyusup ke dalam tanah. Tanah yang tepu menyebabkan air hujan tidak boleh menyerap lagi lalu mengalir di permukaan bumi menuju ke sungai, tasik, kolam dan seterusnya ke laut (Safiah & Rafidah, 2021). Air larian permukaan terjadi apabila intensiti hujan (atau pencairan salji) melebihi dari kadar keupayaan susupan tanah dan mengalir dari permukaan cerun, dan seterusnya masuk ke dalam alur sungai. Ia juga dikenali sebagai model aliran permukaan Horton atau aliran tepu permukaan kerana ia adalah lebihan daripada simpanan (*storage*) di bawah lapisan tanah yang telah menjadi tepu akibat hempasan hujan dan tidak berupaya lagi menyerap air (Baiamonte, 2019). Terdapat tiga komponen air larian permukaan iaitu limpahan air permukaan bumi, aliran air dalam tanah dan larian air dalam alur sungai (Noorazuan et al., 2007). Air larian permukaan iaitu limpahan air permukaan bumi yang tinggi boleh mengakibatkan banjir kilat serta hakisan pada struktur tanah. Kadar air larian permukaan adalah bergantung kepada nisbah hujan pada kawasan tersebut, kadar penyusupan air ke dalam tanah dan kecerunan kawasan tersebut. Peningkatan kadar air larian permukaan didapati berkorelasi positif dengan pertumbuhan urbanisasi dan berkorelasi negatif dengan penutupan tumbuhan yang berkurangan (Naser et al., 2022).

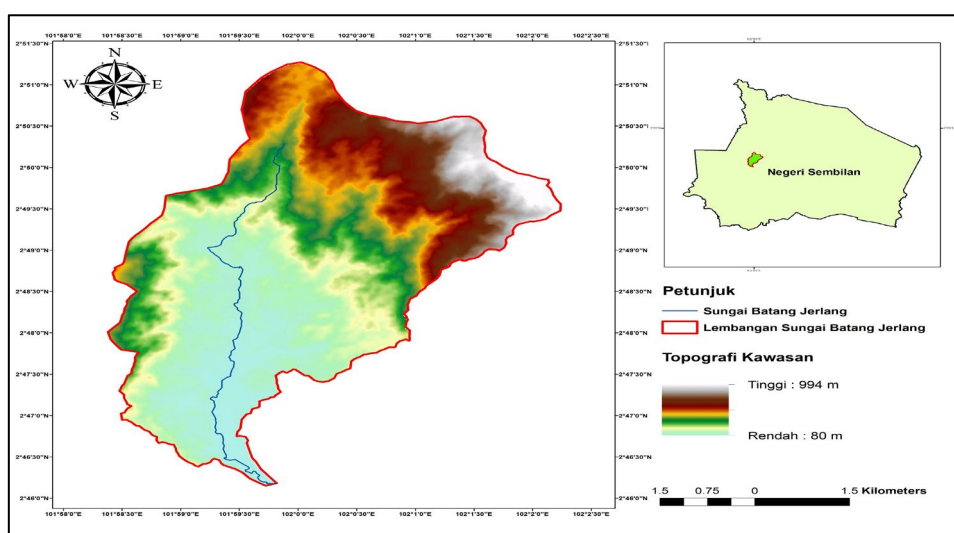
Metodologi

1. Lokasi Kajian

Lembangan Sungai Batang Jerlang mempunyai keluasan lembangan sekitar 17.2 km² dan Sungai Batang Jerlang merupakan sungai utama yang berpunca daripada Air Terjun Bunian, Jalan Jelebu-Seremban dan mengalir ke bahagian hilir di Sungai Batang Penar. Sembilan lokasi persampelan keratan rentas sungai yang telah dipilih bagi menilai kesan perubahan guna tanah terhadap perilaku luahan sungai. Bentuk muka bumi lembangan sungai Batang Jerlang didominasi oleh kawasan yang mendatar dengan julat ketinggian kawasan sekitar 80 meter dari aras laut hingga 998 meter. Lembangan sungai Batang Jerlang telah mengalami perubahan landskap kawasan yang aktif oleh pembangunan aktiviti guna tanah yang pelbagai antaranya pertanian, perlombongan pasir, pembangunan utiliti jala raya dan penempatan baharu.



Rajah 1. Peta lokasi kawasan kajian Negeri Sembilan



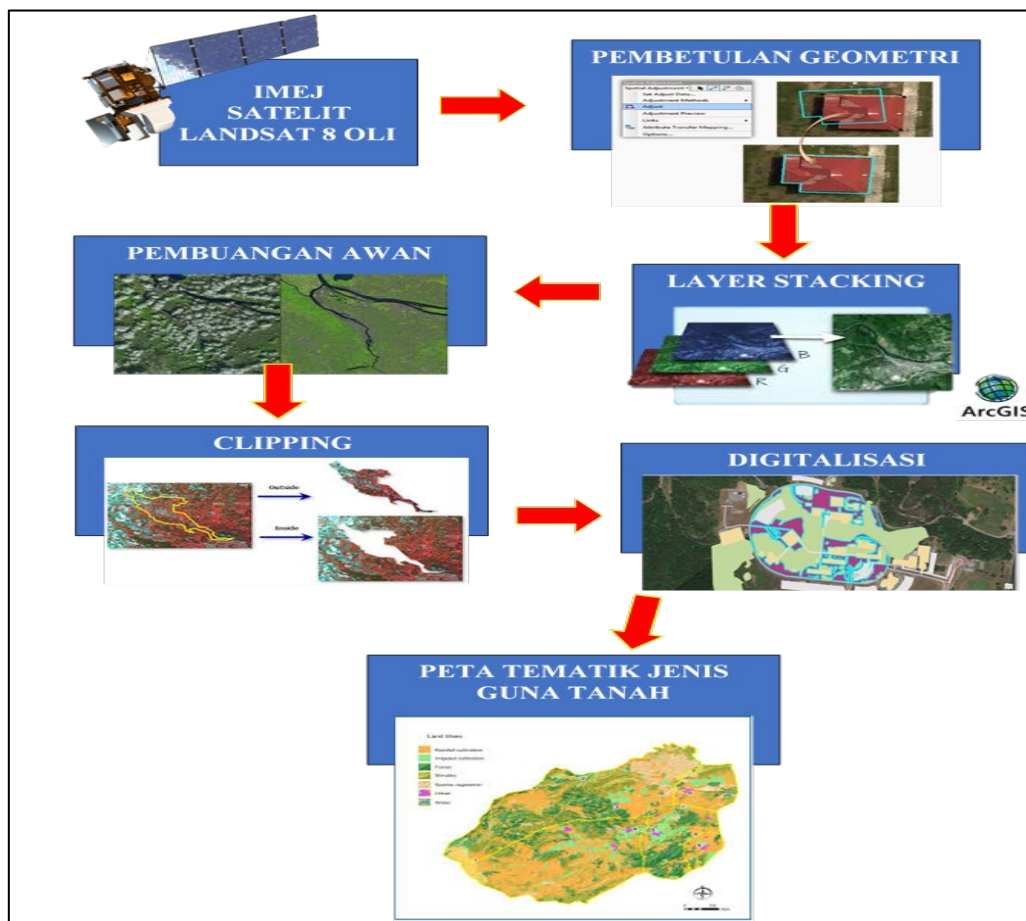
Rajah 2. Topografi kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang.

2. Kaedah Analisis data

Kaedah analisis yang digunakan dalam kajian ini memfokuskan kepada dua kaedah iaitu analisis menggunakan aplikasi sistem maklumat geografi (GIS) serta penggunaan kaedah rasional untuk menganalisis kadar perubahan air larian permukaan akibat perubahan guna tanah yang berlaku di sekitar kawasan lembangan mengikut kala kembali (ARI) kejadian 2, 5, 10, 50 dan 100 tahun.

Analisis Guna Tanah

Kajian ini menganalisis perubahan guna tanah di Negeri Sembilan pada tahun 2012 dan 2022. Penggunaan aplikasi sistem maklumat geografi (GIS) digunakan dalam bahagian ini untuk menganalisis perubahan guna tanah yang berlaku di sekitar kawasan lembangan. Analysis spatial yang digunakan dalam menentukan perbezaan guna tanah bagi tempoh 10 tahun menggunakan aplikasi GIS. Rajah 3 adalah kerangka metodologi yang akan digunakan di dalam menghasilkan peta tematik jenis guna tanah di kawasan kajian.



Rajah 3. Proses menghasilkan peta tematik guna tanah

Analisis Taburan Hujan

Analisis taburan hujan dalam kajian ini dilakukan menggunakan data yang diperoleh daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPSM) di stesen Kampung Baharu Pantai yang terletak pada kedudukan garis lintang 101.5942, 02.4706 di kawasan mukim Pantai, Seremban, Negeri Sembilan. Data yang tersedia bagi stesen tersebut adalah dari tahun 1996 sehingga tahun 2022. Analisis taburan hujan dilakukan menggunakan dua kaedah iaitu menggunakan kaedah analisis Normal dan kaedah Gumbel (Suhaimi et al., 2021). Kedua dua kaedah analisis ini bertujuan untuk menganalisis taburan hujan tahunan mengikut kala kembali (ARI) 2, 5, 10, 50 dan 100 tahun. Formula bagi kaedah Normal dan Gumbel dalam kajian ini ditunjukkan dalam persamaan [1] dan persamaan [2].

$$X_T = \bar{x} + K_T \times S \quad \dots[1]$$

Dimana

X_T = Hujan tahunan

\bar{x} = Nilai purata jumlah hujan

S = Sisihan piawai

KT = Faktor frekuensi

$$X_T = \bar{x}_{rt} + (K_t \times S_d) \dots[2]$$

Dimana

X = Jumlah hujan tahunan

\bar{x}_{rt} = Purata jumlah hujan (mm)

Sd = Sisihan piawai (*Standard Deviation*)

Kt = Faktor frekuensi Gumbel

Analisis Air Larian

Analisis air larian permukaan yang terhasil akibat perubahan guna tanah yang berlaku di analisis menggunakan kaedah Rasional. Kaedah rasional adalah salah satu kaedah anggaran air larian yang paling popular digunakan untuk menganggar air larian puncak Qp yang diperlukan (Jainet, 2018). Bagi menentukan kadar luahan puncak, di bawah mekanisme Hortonian penghasilan air larian, aplikasi tradisional Formula Rasional (RF) memerlukan masa hujan yang maksimum (Xrt) untuk disamakan dengan nilai konsentrasi masa (Tc) yang diperlukan bagi air mengalir dari satu titik ke satu titik yang lebih rendah dalam sebuah aliran sungai (Baiamonte, 2019). Kaedah rasional digunakan untuk menganggarkan kadar luahan atau air larian yang terhasil kesan daripada aktiviti perubahan guna tanah yang berlaku dalam sesebuah kawasan lembangan yang berlaku dalam sesebuah kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang. Tiga parameter penting yang terdapat dalam persamaan kaedah Rasional yang menjadi petunjuk kepada pengiraan penghasilan air larian permukaan iaitu pekali koefisien aliran (C), keamatan hujan (I) dan kawasan lembangan (A). Formula yang diguna pakai dalam analisis ini ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$Q = 0.2778 \times C \times I \times A \dots[3]$$

Dimana Q merupakan kadar air larian atau luahan, C adalah pekali koefisien bagi jenis guna tanah yang terdapat dalam kajian, I merupakan keamatan hujan dan nilai A merujuk kepada keluasan kawasan lembangan. Seterusnya persamaan [4] pula menunjukkan formula yang digunakan untuk mendapatkan jumlah pekali koefisien berdasarkan jenis litupan tanah yang terdapat di kawasan lembangan. Dimana A1 merujuk kepada jenis litupan tanah, P merupakan pekali koefisien bagi setiap jenis litupan tanah dan A2 merujuk kepada jumlah keluasan lembangan. Manakala Jadual 1 menunjukkan pekali koefisien bagi setiap jenis litupan tanah yang dikeluarkan oleh MASMA (Suhaimi et al., 2021).

$$\text{Pekali koefisien aliran (C)} = \frac{\sum (A_1 \times P)}{\sum A_2} \dots[4]$$

Jadual 1. Pekali koefisien jenis litupan tanah.

Guna Tanah	Pekali Air Larian (C)	
	ARI < 10 Tahun	ARI > 10 Tahun
Kawasan Perumahan		
• Banglo	0.65	0.70
• Semi-D Banglo	0.70	0.75
• Teres	0.80	0.90
• Flat dan Apartmen	0.80	0.85
• Kondominium	0.75	0.80
Kawasan komersial dan Pusat Perniagaan	0.90	0.95
Kawasan industri	0.90	0.95
Lapangan permainan, Tanam, Pertanian	0.30	0.40
Kawasan Terbuka		
• Gondol	0.50	0.60
• Rumput	0.40	0.50

• Belukar	0.35	0.45
• Hutan	0.30	0.40
Jalan Raya & Lebu Raya	0.95	0.95
Badan Air		
• Kolam takungan (ada <i>Outlet</i>)	0.95	0.95
• Kolam (tiada <i>Outlet</i>)	0.00	0.00

Sumber: DID (2012)

Seterusnya komponen intensiti atau keamatan hujan dalam formula Rasional. Intensiti hujan merujuk kepada kedalaman atau keamatan hujan dalam satu tempoh masa. Kebiasaannya unit ukuran yang digunakan adalah mm/jam. Nilai Keamatan hujan (I) dalam kajian ini dikira menggunakan rumus mononobe pada persamaan [5]. Rumus mononobe mempunyai beberapa pekali yang penting dalam menentukan jumlah intensiti kejadian hujan (Abdul & Bagus, 2020) iaitu nilai bagi konsentrasi masa (T_c). Nilai T_c merupakan masa yang diperlukan oleh aliran air mengalir dari kawasan hulu hingga ke kawasan hilir aliran sungai. Nilai konsentrasi masa amat dipengaruhi oleh panjang saluran serta kecerunan aliran sungai di kawasan lembangan yang dikaji. Nilai T_c dapat ditentukan menggunakan persamaan [6] menggunakan formula Kirpich (Osugwu et al., 2019).

$$\text{Keamatan hujan (I)} = \left(\frac{X_{24}}{24}\right) * \left(\frac{24}{T_c}\right)^{2/3} \quad \dots [5]$$

Dimana

I = Keamatan Hujan

X_{24} = Magnitud Hujan (mm)

T_c = Konsentrasi Masa (Jam)

$$\text{Konsentrasi masa (} T_c \text{)} = \frac{(0.87 \times L^2)^{0.385}}{1000 \times S} \quad \dots [6]$$

Dimana

T_c = Konsentrasi Masa (Jam)

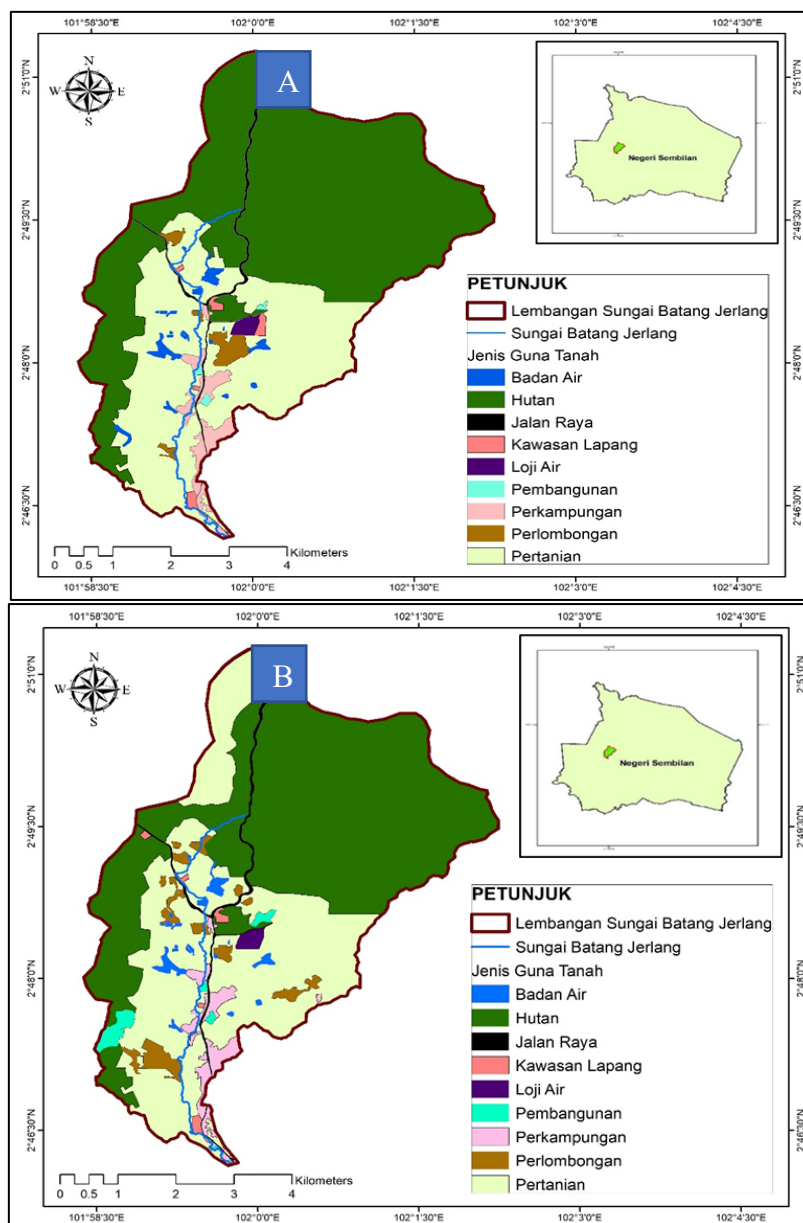
L = Panjang Sungai (Km)

S = Kecerunan (m)

Hasil Kajian

1. Perubahan Guna Tanah Dan Litupan Tanah

Analisis perubahan guna tanah bagi kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang dari Tahun 2012 hingga 2022 ditunjukkan dalam Jadual 2. Hasil analisis mendapati, dua jenis guna tanah yang terdapat di dalam kawasan lembangan sungai Batang Jerlang mengalami penurunan jumlah kawasan iaitu hutan dan kawasan badan air. Jumlah kawasan hutan telah berkurangan sebanyak 6.92 peratus berbanding tahun 2012 dan badan air seperti tasik dan kawasan bekas lombong telah berkurangan sebanyak 0.092 peratus berbanding tahun sebelumnya. Manakala jenis guna tanah lain telah mengalami peningkatan yang signifikan selama tempoh 10 tahun iaitu guna tanah pertanian meningkat sebanyak 5.01 peratus berbanding tahun 2012, merupakan aktiviti guna tanah yang paling tinggi direkodkan. Seterusnya guna tanah lain yang mengalami peningkatan adalah aktiviti perlombongan dan kawasan pembangunan. Dimana aktiviti perlombongan meningkat sebanyak 1.196 peratus berbanding tahun 2012 dan peningkatan sebanyak 0.764 peratus bagi aktiviti pembangunan telah berlaku pada tahun 2022. Rajah 4 menunjukkan pola taburan aktiviti guna tanah yang berlaku di sekitar lembangan pada tahun 2012 (A) dan tahun 2022 (B).



Rajah 4. Keluasan guna tanah bagi tahun 2012 (A) dan tahun 2022 (B)

Jadual 2. Perubahan Jenis Guna Tanah bagi tahun 2012 dan 2022.

Jenis Guna Tanah	2012		2022		Δ %
	Luas (km ²)	Peratus (%)	Luas (km ²)	Peratus (%)	
Hutan	18.011	55.25	15.746	48.301	-6.92
Pertanian	10.701	32.83	12.334	37.834	5.01
Kawasan Lapang	1.188	3.64	1.197	3.672	0.003
Perlombongan	0.577	1.77	0.967	2.966	1.196
Perkampungan	1.109	3.4	1.111	3.408	0.006
Pembangunan	0.321	0.98	0.57	1.748	0.764
Loji Air	0.139	0.43	0.14	0.429	0.003
Jalan Raya	0.401	1.23	0.412	1.264	0.034
Badan Air	0.153	0.47	0.123	0.377	-0.092
Jumlah	32.6	100	32.6	100	

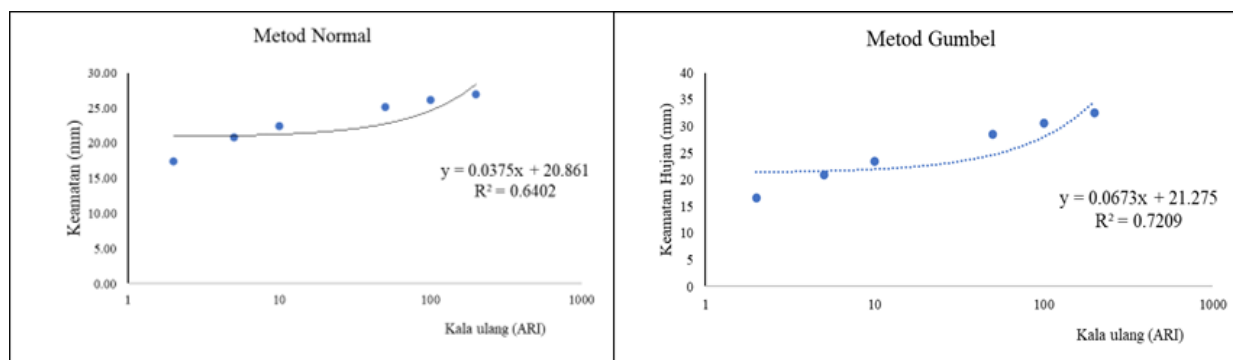
2. Analisis Taburan Hujan dan Pekali Koefisien Litupan Tanah

Hasil analisis pekali koefisien bagi setiap jenis litupan tanah di kawasan lembangan sungai Batang Jerlang ditunjukkan dalam Jadual 3. Pekali koefisien menunjukkan kadar air larian permukaan yang boleh terhasil

apabila berlakunya hujan yang efektif bagi tempoh 1 jam. Hasil analisis mendapati daripada perubahan aktiviti guna tanah yang berlaku pada tahun 2012 hingga 2022 di sekitar kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang pekali koefisien telah meningkat daripada 0.421 kepada 0.425 pada tahun 2022. Peningkatan ini menunjukkan lembangan sungai Batang Jerlang berpotensi menghasilkan air larian permukaan yang tinggi apabila berlakunya kejadian hujan. Seterusnya analisis kadar luahan yang terhasil melalui perubahan corak litupan tanah yang berlaku ditunjukkan dalam Jadual 4. Selepas analisis taburan hujan dilakukan menggunakan kaedah gumbel dan normal, kaedah gumbel telah menunjukkan kadar keamatan hujan yang lebih sekata berbanding kaedah normal dengan nilai $R^2=0.72$. Hal ini dibuktikan melalui analisis nilai hubungan regresi antara kala kembali dengan jumlah keamatan hujan yang dianalisis. Rajah 5 menunjukkan graf hubungan regresi antara kala ulang dengan jumlah keamatan hujan bagi kaedah normal dan gumbel.

Jadual 3. Keluasan guna tanah mengikut pekali bagi kawasan kajian

Litupan Tanah	2012		2022	
	Luas (km ²)	Nilai C	Luas (km ²)	Nilai C
Hutan	18.011	7.204	15.746	6.300
Pertanian	10.701	4.280	12.334	4.934
Kawasan Lapang	1.188	0.594	1.197	0.599
Perlombongan	0.577	0.346	0.967	0.580
Perkampungan	1.109	0.610	1.111	0.611
Pembangunan	0.321	0.193	0.57	0.342
Loji Air	0.139	0.125	0.14	0.126
Jalan Raya	0.401	0.381	0.412	0.391
Badan Air	0.153	0	0.123	0
Jumlah	32.6	13.734	32.6	13.881
Nilai pekali koefisien (C)	0.421		0.425	



Rajah 5. Graf hubungan antara keamatan hujan dengan kala ulang kejadian.

3 Analisis Kadar Luahan

Analisis kadar luahan dalam kajian ini dihasilkan menggunakan formula yang ditunjukkan dalam persamaan [3] hinggan persamaan [6] di bahagian metodologi kajian. Hasil analisis mendapati kadar luahan menunjukkan peningkatan yang signifikan bagi setiap kala ulang 2, 5, 10, 50 dan 100 tahun. Kadar luahan atau pembentukan air larian permukaan di lembangan Sungai Batang Jerlang menunjukkan peningkatan bagi setiap kala ulang yang dikira. Bagi kala ulang 2 tahun peningkatan dalam perubahan guna tanah menjadikan kadar luahan meningkat sebanyak 0.67 m³/s pada tahun 2022. Seterusnya, bagi kala ulang 5 dan 10 tahun, magnitud luahan telah meningkat sebanyak 0.86 m³/s pada kala ulang 5 tahun dan 0.96 m³/s pada kala ulang 10 tahun. Selain itu, pada kala ulang 100 dan 200 tahun, kadar luahan menunjukkan peningkatan iaitu 1.17 m³/s pada 100 tahun kala ulang dan 1.25 m³/s pada kala ulang 200 tahun. Peningkatan kadar luahan ini susulan daripada aktiviti guna tanah di sekitar kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang yang telah mengalami peningkatan bagi tempoh 10 tahun.

Jadual 4 Analisis kadar luahan mengikut kala ulang

Ulang Kala (Tahun)	Jumlah Hujan (mm)	Keamatan (mm/Jam)	Nilai C 2012	Nilai C 2022	Luahan 2012 (m ³ /s)	Luahan 2022 (m ³ /s)	Δ m ³ /s
2	65.83	16.46	0.421	0.425	63.10	63.77	0.67
5	93.51	20.80	0.421	0.425	79.72	80.58	0.86
10	110.91	23.30	0.421	0.425	89.33	90.29	0.96
50	149.20	28.40	0.421	0.425	108.86	110.03	1.17
100	165.39	30.42	0.421	0.425	116.60	117.85	1.25

Perbincangan

Faktor antropogenik telah memberikan pengaruh yang jelas terhadap perubahanimbangan air melalui perubahan aktiviti guna tanah yang berlaku di sekitar kawasan lembangan (Mohajerani et al., 2023; Niloofar & Najmeh, 2019) bagi tempoh 10 tahun. Manusia telah memainkan peranan yang penting dalam mengubah landskap pandang darat fizikal bentuk muka bumi menyebabkanimbangan air mengalami ketidakseimbangan. Antara masalah yang boleh berlaku akibat peningkatan kadar air larian yang berlaku di kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang adalah masalah banjir setempat. Air larian berupaya mengangkut bahan sedimentasi masuk ke dalam sistem saluran berhampiran dan bahan sedimentasi tersebut dimendapkan di dasar sungai lalu menyebabkan sungai menjadi cetek (Ata et al., 2023). Dasar sungai yang cetek disebabkan oleh sedimentasi menyebabkan sungai kehilangan daya tampung luahan apabila berlakunya aliran ribut atau hujan lebat (Wang et al., 2022). Aliran sungai yang cetek boleh menyebabkan banjir mudah berlaku apabila berlakunya hujan lebat. Sungai mengalami kehilangan daya tampung debit sungai yang meningkat selepas hujan kemudian melimpahi kawasan daratan kering yang mana kawasan tersebut mungkin terdapat tempat tinggal, kawasan pertanian dan lain-lain.

Seterusnya, peningkatan kadar air larian permukaan juga boleh menyebabkan kualiti dan kuantiti sumber air mengalami gangguan (Noorjima et al., 2022) Sungai Batang Jerlang merupakan anak sungai Batang Penar yang membekalkan sumber air mentah kepada penduduk di sekitar Seremban melalui Loji Rawatan Air Sungai Terip. Peningkatan kadar air larian permukaan akibat peningkatan aktiviti guna tanah khususnya pertanian menyebabkan kandungan bahan terlarut di dalam air khususnya baja dan racun tumbuhan akan meningkat apabila hujan (Naseem et al., 2021). Penggunaan baja kimia dalam aktiviti pertanian boleh mengakibatkan kandungan baja dalam air akan meningkat dan sungai menjadi tercemar. Seterusnya, pembukaan kawasan baharu dan aktiviti perlombongan menyebabkan kawasan terdedah dengan hakisan percikkan oleh hujan. Hakisan percikkan di kawasan yang diteroka menjadi penyumbang kepada kemerosotan kualiti dan kuantiti sumber air melalui peningkatan bahan pepejal terampai di dalam aliran sungai.

Selain itu, implikasi daripada peningkatan air larian permukaan adalah kemusnahan habitat dan sumber makanan hidupan akuatik (Ceara et al., 2018; Geisa et al., 2022). Rantainya makanan yang terdapat di dalam aliran sungai Batang Jerlang boleh mengalami gangguan dan kepupusan. Sumber makanan kepada hidupan akuatik akan terganggu akibat peningkatan kandungan tanah jenis liat di dalam air. Kandungan liat yang tinggi di dalam aliran sungai dapat menghalang cahaya matahari sampai ke dasar sungai bagi memberikan makanan kepada tumbuhan air melalui proses fotosintesis (Mohd Khairul Amri et al., 2017). Natijahnya, sumber makanan hidupan akuatik akan terjejas dan boleh mengalami kepupusan. Seterusnya, peningkatan bahan pencemar di dalam sungai juga boleh menyebabkan habitat hidupan sungai mengalami kemusnahan (Noorjima et al., 2016). Sebagai contoh, peningkatan bahan sedimentasi selepas kejadian hujan menyebabkan proses pengangkutan sedimen berlaku dan memusnahkan kawasan habitat semula jadi hidupan akuatik melalui proses pendedahan dan hakisan.



Rajah 6. Prinsip pengurusan lembangan sungai bersepadu

Implikasi terhadap peningkatan kadar air larian permukaan di kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang perlu diatasi secara menyeluruh supaya kawasan tadahan sumber air mentah terus terpelihara dan terpelihara. Oleh yang demikian cadangan pengurusan lembangan sungai secara bersepadu hendaklah diperkukuhkan di kawasan lembangan berkenaan. Pengurusan lembangan sungai secara bersepadu merupakan satu proses penyelarasan dalam pemuliharaan, pengurusan dan pembangunan sumber air, tanah dan sumber-sumber berkaitan merentasi semua sektor di dalam sesebuah lembangan sungai (Amos et al., 2022). Ia bertujuan untuk memaksimumkan faedah sosial ekonomi bagi sumber air secara mampan dan pada masa yang sama memelihara atau mengembalikan semula ekosistem semulajadi sumber air. Model Pengurusan Sungai Bersepadu (IRBM) merupakan subset daripada IRBM dan merupakan kaedah atau pendekatan yang berkesan untuk mencapai objektif IRBM berasaskan lembangan sungai (Rajah 6). Dengan kata lain, IRBM bermaksud lembangan sungai yang diurus sebagai satu entiti dan bukannya secara berasingan oleh pihak pengurusan yang berbeza dan tiada kerjasama (Samsiah et al., 2023). IRBM adalah persediaan untuk menyatupadukan dan menyelaraskan dasar, program dan amalan. IRBM menentengahkan isu air dan isu yang berkaitan dengan air. IRBM memerlukan keupayaan profesional yang lebih baik dan penambahbaikan/peningkatan dari segi kewangan, perundangan, pengurusan dan keupayaan politik. Di samping itu, kajian berkaitan masalah sedimentasi yang berlaku di aliran sungai serta membuat kajian berkaitan pemodelan banjir menggunakan kaedah hidrodinamik untuk menghasilkan peta risiko kejadian banjir pada masa hadapan boleh dilaksanakan untuk mengetahui dengan lebih tuntas permasalahan persekitaran fizikal yang timbul akibat perubahan guna tanah.

Kesimpulan

Aktiviti guna tanah di sekitar kawasan lembangan Sungai Batang Jerlang menunjukkan trend yang meningkat saban tahun. Pembukaan kawasan bagi pelbagai tujuan aktiviti guna tanah jelas menunjukkan berlakunya gangguan terhadapimbangan air di kawasan lembangan. Jenis guna tanah yang pesat membangun di sekitar kawasan lembangan sungai seperti aktiviti pertanian, perlombongan, pembangunan dan guna tanah lainnya menjadi pencetus kepada kemerosotan kualiti dan kuantiti sumber air, masalah banjir setempat serta kemusnahan habitat flora dan fauna akuatik. Selain itu, kawasan tadahan yang menjadi punca kepada sumber

air bagi bekalan air domestik kepada penduduk sekitar seremban akan mengalami gangguan jika langkah menyeluruh tidak dilaksanakan dengan saksama dan konsisten.

Penghargaan: Penulis ingin merakamkan penghargaan dia atas sokongan kewangan yang disediakan oleh syarikat CNH Advantech Sdn Bhd serta Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan (FSSK), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) melalui geran SK-2022-037 (Simulasi impak perubahan guna tanah serta keseimbangan geomorfologi sungai dalam memastikan kelestarian sistem sungai di lembangan sungai Batang Penar, Negeri Sembilan).

Konflik Kepentingan: Penulis mengaku tiada konflik kepentingan dalam kajian ini.

Rujukan

- Abd Wahab, N., Kamarudin, M. K. A., Toriman, M. E., Juahir, H., Ata, F. M., Ghazali, A., ... & Hoe, L. I. (2022). The assessment of sedimentation and water quality status for river catchment management in Kenyir Lake Basin. *Desalination and Water Treatment*, 269, 93-105. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28674>
- Abd Wahab, N., Kamarudin, M. K. A., Toriman, M. E., Juahir, H., Saad, M. H. M., Ata, F. M., ... & Harith, H. (2019). Sedimentation and water quality deterioration problems at Terengganu River Basin, Terengganu, Malaysia. *Desalination and Water Treatment*, 149, 228-241. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23836>
- Abd Wahab, N., Kamarudin, M.K., Gasim, M.B., Umar, R., Ata, F.M., & Sulaiman, N.H. (2016). Assessment of Total Suspended Sediment and Bed Sediment Grains in Upstream Areas of Lata Berangin, Terengganu. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6, 757-763.
- Abdul Halim, I. (2020). Isu-isu alam sekitar di Malaysia menurut pandangan pakar: Satu analisis perbandingan berdasarkan Tafsir al-Misbah. *Borneo Akademika*, 4(2), 30-40. <http://borneoakademika.sabah.uitm.edu.my/>
- Abdullah, N. M., Toriman, M. E., Md Din, H., Abd Aziz, N. A., Kamarudin, M. K. A., Abdul Rani, N. S., Ata, F. M., Saad, M. H., Abdullah, N. W., Idris, M. and Jamil, N. R. (2013). Influence of Spatial and Temporal Factors in Determining Rainfall Interception at Dipterocarp Forest Canopy, Lake Chini, Pahang. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 17(1), 11–23.
- Ahmadi-Sani, N., Razaghnia, L., & Pukkala, T. (2022). Effect of Land-Use change on runoff in Hyrcania. *Land*, 11(2), 220. *Land* 2022, 11, 220. <https://doi.org/10.3390/land11020220>
- Akhtar, N., Syakir Ishak, M. I., Bhawani, S. A., & Umar, K. (2021). Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*, 13(19), 2660. <https://doi.org/10.3390/w13192660>
- Ata, F. M., Toriman, M. E., & Kamarudin, M. K. A. (2015). Kesan pintasan ke atas infiltrasi dan kelembapan tanah di hutan dipterokarp dan ladang kelapa sawit di Tasik Chini, Pahang. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19(5), 1084-1092
- Ata, F. M., Toriman, M. E., Desa, S. M., San, L. Y., & Kamarudin, M. K. A. (2023). Impact of Land Use Activities On the Hydrological Regime in The Junjung River Basin, Penang Island, Malaysia. *Planning Malaysia*, 21(6), 42 -56. <https://doi.org/10.21837/pm.v21i30.1385>
- Ata, F. M., Toriman, M. E., Desa, S. M., San, L. Y., & Kamarudin, M. K. A. (2023). Development of Hydrological Modelling Using HEC-HMS and HEC-RAS for Flood Hazard Mapping at Junjung River Catchment. *Planning Malaysia*, 21(6). 116 – 129. <https://doi.org/10.21837/pm.v21i30.1390>
- Bibi, T. S., Reddythta, D., & Kebebew, A. S. (2023). Assessment of the drainage systems performance in response to future scenarios and flood mitigation measures using storm water management model. *City and Environment Interactions*, 19(8), 100111. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100111>

- Chalid, A., & Prasetya, B. (2020). Utilization of a pond in East Jakarta for a sustainable urban drainage system model. In IOP conference series: *Earth and Environmental Science*, 437(1), 1 - 9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/437/1/012018>
- Dzakir, M. R. M., Tahir, Z., & Ahmad, H. (2020). Penelitian Impak Projek Pembangunan Pesat yang dilaksanakan di Wilayah Iskandar, Malaysia. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 5(12), 342-354. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v5i12.613>
- Farsi, N., & Mahjouri, N. (2019). Evaluating the contribution of the climate change and human activities to runoff change under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 574, 872-891. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.028>
- Giorgio, B. (2019). A rational runoff coefficient for a revisited rational formula. *Hydrological Sciences Journal*, 65(1), 112–126. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1682150>
- Hashim, N., Ahmad, A., & Abdullah, M. (2007). Mapping urban heat island phenomenon: Remote sensing approach. *The Institution of Engineers, Malaysia*, 68, 25-30.
- Jainet, P.J. (2018). Evaluation of the conceptual basis of the rational method. *International Journal of Hydrology*, 2(6), 2-7. <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00145>
- Kamarudin, M. K. A., Toriman, M. E., Rosli, M. H., Juahir, H., Azid, A., Mohamed Zainuddin, S. F., Abdul Aziz, N. A. & Sulaiman, W. N. A. (2014). Analysis of Meander Evolution Studies on Effect from Land Use and Climate Change at Upstream Reach of Pahang River, Malaysia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, 1319–1334. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-014-9547-6>
- Kamarudin, M. K. A., Toriman, M. E., Wahab, N. A., Rosli, H., Ata, F. M., & Faudzi, M. M. (2017). Sedimentation study on upstream reach of selected rivers in Pahang River Basin, Malaysia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(1), 35-41. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.7.1.971>
- Lambin E.F., & Meyfroidt P. (2010). Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 27(2), 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003>
- Li, Q., Luo, Z., Zhong, B., & Zhou, H. (2018). An improved approach for evapotranspiration estimation using water balance equation: case study of Yangtze River Basin. *Water*, 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w10060812>
- Lu, W., Melville, B. W., Xu, Z., Shamseldin, A. Y., Wu, W., Wang, X., & Nie, R. (2022). Massive riverbed erosion induced by inappropriate grade control: A case study in a large-scale compound channel. *Journal of Hydrology*, 612, 128313. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128313>
- Mansor, N. F. A., Md Nor, N. N. F., Idris, N. R. A., Abdul Rashid, S. M. R., Mohamad Yusof, I., & Kemarau, R. (2023). Flood Disaster and Impact on Residents: Case Study in Kedah. *Geografi*, 11(1), 44–67. <https://doi.org/10.37134/geografi.vol11.1.3.2023>
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C., Bates, P., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 592-609.
- Mohajerani, H., Jackel, M., Salm, Z., Schütz, T., & Casper, M. C. (2023). Spatial Evaluation of a Hydrological Model on Dominant Runoff Generation Processes Using Soil Hydrologic Maps. *Hydrology*, 10(3), 1 - 18. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030055>
- Mosammam, H.M., Nia, J.T., Khani, H., Teymouri, A. and Kazemi, M. (2017) Monitoring Land Use Change and Measuring Urban Sprawl Based on Its Spatial Forms: The Case of Qom City. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, 103-116. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.08.002>
- Muguti, A., Chiunye, T., Mutongi, C., & Kandufa, P. (2022). Unpacking integrated result based Management (IRBM) concept. *Int J Multidiscip Res Publ (IJMRAP)*, 4(7), 58-68.
- Nicolete, D. A. P., & Piroli, E. L. (2024). Assessment of The Impact of Changes In Land Use and Land Cover on Surface Runoff. *Mercator (Fortaleza)*, 23, e23012. <https://doi.org/10.4215/rm2024.e23012>
- Omar, S., Wong, C. L., & Shaari, J. (2023). Integrated River Basin Management (IRBM) in Malaysia. *Journal of Water Resources Management*, 1(1), 1 - 6. <https://journal.water.gov.my/index.php/jowrm/article/view/4>

- Osuagwu, J. C., Agunwamba, J. C., & Nwabunor, C. E. (2019). Verification of time of concentration equation for improved drainage design. *Journal of Environmental Management and Sustainable Development*, 8(2), 151-161. <https://doi.org/10.5296/emsd.v8i2.14902>
- Santana, G. N. D., Silva, L. A. D. S. D., Santos, R. L., Delgado-Mendez, J. M., & Sampaio, C. B. V. (2022). Runoff, Identification of Sensitive Zones in the Capivari Watershed-BA. *Sociedade & Natureza*, 34, e63971. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63971>
- Seman, S., & Aiyub, K. (2023). Pertumbuhan Bandar Mempengaruhi Rebakan Bandar serta Perubahan Guna Tanah di Daerah Seremban: Satu Tinjauan Awal. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 8(5), e002295. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i5.2295>
- Shrestha, S., Bhatta, B., Shrestha, M., & Shrestha, P. K. (2018). Integrated assessment of the climate and landuse change impact on hydrology and water quality in the Songkhram River Basin, Thailand. *Science of the Total Environment*, 643, 1610-1622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.306>
- Talbot, C. J., Bennett, E. M., Cassell, K., Hanes, D. M., Minor, E. C., Paerl, H., Raymond, P. A., Vargas, R., Vidon, P. G., Wollheim, W., & Xenopoulos, M. A. (2018). The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry*, 141(3), 439-461. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0449-7>
- Toriman, M. E. (2010). Kajian Kualitatif Perubahan Guna Tanah Kawasan Bandar Pekanbaru dengan Menggunakan Sistem Maklumat Geografi (GiS). *Sains Malaysiana*, 39(5), 705-709.
- Yajid, S., Mustapha, H. A., & Deris, A. (2021). Kajian Penyelidikan Bagi Pembinaan Lengkung Keamatan-Tempoh Frekuensi (Idf Curve) Bagi Daerah Pekan, Pahang Menggunakan Kaedah Gumbel. *ANP Journal of Social Science and Humanities*, 2(1), 26-35. <https://doi.org/10.53797/anpjssh.v2i1.4.2021>
- Yusoff, S. Y. M., & Thomas, R. (2021). Pemetaan Titik Panas Banjir Kilat Di Kuala Lumpur: Pemetaan Titik Panas Banjir. *Malaysian Journal of Tropical Geography (MJTG)*, 47(1), 123-142. <https://ejournal.um.edu.my/index.php/MJTG/article/view/35196/14327>