

Contents list available at [journal.uib.ac.id](http://journal.uib.ac.id)**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

## Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir di Kota Batam Menggunakan Analisis GIS

### The Effect of Land Use Change on Flood Discharge in Batam City Using GIS Analysis

Sri Dewi Lestari<sup>1</sup>, Ade Jaya Saputra<sup>2</sup>, Joewono Prasetyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam

<sup>2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam

<sup>3</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam

Email korespondensi: [ade.jaya@uib.ac.id](mailto:ade.jaya@uib.ac.id)

#### INFO ARTIKEL

##### Kata kunci :

Tata Guna Lahan, Debit Banjir,  
Sistem Informasi Geografis

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir di Kota Batam periode 2014–2023 dengan mengintegrasikan analisis spasial berbasis Geographic Information System (GIS) dan analisis hidrologi menggunakan Metode Rasional. Data yang digunakan meliputi citra satelit Landsat tahun 2014 dan 2023, data curah hujan maksimum tahunan selama 10 tahun, serta data luas daerah aliran sungai. Perubahan tata guna lahan dianalisis melalui supervised classification dan dihitung kontribusinya terhadap perubahan koefisien limpasan berdasarkan luasan masing-masing kelas lahan. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penyusutan kawasan hutan sebesar 10,86% dan peningkatan lahan terbangun sebesar 4,50%. Perubahan ini berdampak pada peningkatan koefisien limpasan rata-rata DAS, yang selanjutnya meningkatkan debit banjir maksimum rencana. Hasil perhitungan menunjukkan kenaikan debit banjir rata-rata sebesar 11,89% atau sekitar 50,47 m<sup>3</sup>/detik dari tahun 2014 ke 2023. Penelitian ini menegaskan bahwa perubahan tata guna lahan akibat urbanisasi berkontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko banjir di Kota Batam, sehingga diperlukan pengelolaan tata ruang yang berkelanjutan.

#### ARTICLE INFO

##### Keywords:

Land Use, Flood Discharge,  
Geographic Information System

#### ABSTRACT

*This study aims to analyze the effect of land use change on flood discharge in Batam City for the period 2014–2023 by integrating spatial analysis based on Geographic Information System (GIS) and hydrological analysis using the Rational Method. The data used included Landsat satellite images from 2014 and 2023, annual maximum rainfall data for 10 years, and data on the area of the river basin. Land use changes were analyzed through supervised classification and their contribution to changes in the runoff coefficient was calculated based on the area of each land class. The results of the study show a 10.86% reduction in forest area and a 4.50% increase in built-up land. These changes have resulted in an increase in the average runoff coefficient of the watershed, which in*

---

*turn has increased the maximum planned flood discharge. The calculation results show an increase in average flood discharge of 11.89% or around 50.47 m<sup>3</sup>/second from 2014 to 2023. This study confirms that land use changes due to urbanization contribute significantly to an increased risk of flooding in Batam City, thus requiring sustainable spatial management.*

---

## 1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu fenomena alam yang sangat rumit dan seringkali menimbulkan kerusakan besar, menyebabkan kerugian signifikan pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara global [1],[2]. Kejadian ini disebabkan oleh faktor alam dan dampak ulah manusia [3],[4]. Frekuensi dan keparahan banjir semakin meningkat akibat gabungan faktor alami seperti curah hujan yang sangat tinggi dan perubahan iklim dan aktivitas manusia, di mana perubahan penggunaan lahan memiliki kontribusi besar [5]. Perubahan ini merujuk pada pergantian fungsi lahan misalnya, berkurangnya hutan atau konversi lahan yang biasanya mengurangi luas area fungsi aslinya [6], [7]. Khususnya di wilayah perkotaan dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan yang pesat, ekspansi untuk pemukiman dan infrastruktur memicu kondisi ini [8]. Dampak akhirnya adalah degradasi lahan dan peningkatan polusi. Oleh karena itu, memahami secara mendalam keterkaitan antara perubahan tata guna lahan dan besarnya debit banjir menjadi krusial untuk merancang strategi penanggulangan bencana yang efektif dan berkelanjutan.

Perubahan tata guna lahan, yang meliputi proses seperti deforestasi dan urbanisasi, secara fundamental mengubah karakter hidrologis permukaan tanah [9]. Perubahan ini secara langsung memengaruhi nilai Koefisien Limpasan (C) DAS. Pembangunan kota mengganti area hijau dengan permukaan kedap air (beton dan aspal), yang mengakibatkan penurunan drastis kapasitas infiltrasi dan peningkatan signifikan pada limpasan permukaan (surface runoff) [10]. Kedua aktivitas ini memperburuk kondisi dengan drastis mengurangi infiltrasi air ke dalam tanah dan secara bersamaan meningkatkan kecepatan aliran air di permukaan. Akibatnya, terjadi peningkatan signifikan limpasan permukaan, yaitu air yang mengalir di atas tanah, yang menjadi penyebab utama banjir [11]. Dalam hal ini, debit banjir volume air yang mengalir melalui saluran berfungsi sebagai indikator kunci risiko banjir, dan volume air ini dipengaruhi oleh perubahan lahan melalui tiga mekanisme hidrologis utama [12],[13]. Pertama, perubahan lahan mengatur infiltrasi, yang secara langsung menentukan volume limpasan [14]. Kedua, perubahan tersebut memengaruhi evapotranspirasi (penguapan air), di mana penurunan area hijau berarti lebih banyak air yang tertahan di sistem [15]. Ketiga, perubahan topografi akibat pembangunan dapat mempercepat pola aliran air dan mempersingkat waktu yang dibutuhkan air hujan untuk terkonsentrasi di sungai, yang pada akhirnya memperbesar puncak debit banjir [16].

Meskipun banyak penelitian telah menegaskan dampak signifikan perubahan tata guna lahan terhadap karakteristik hidrologi di Daerah Aliran Sungai (DAS), masih ada keterbatasan dalam mengintegrasikan data spasial secara efektif dengan model hidrologi kuantitatif. Kesenjangan ini menghambat evaluasi mendalam mengenai dinamika perubahan lahan dan seberapa besar kontribusinya terhadap peningkatan debit puncak banjir. Penelitian ini menggunakan pendekatan modern dengan menggabungkan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode ini memungkinkan pengukuran pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir secara kuantitatif. Keunggulan dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menyajikan hasil secara komprehensif, tidak hanya dalam bentuk statistik terukur, tetapi juga melalui representasi visual yang jelas mengenai peta perubahan lahan dan identifikasi area yang memiliki kontribusi terbesar terhadap peningkatan risiko

banjir. Dengan demikian, tujuan utama studi ini adalah untuk menguji secara komprehensif dan visual dampak perubahan lahan terhadap debit banjir menggunakan perangkat lunak pemetaan mutakhir. Hasil studi yang akurat dan tervisualisasi ini diharapkan dapat menjadi informasi berharga yang dapat digunakan oleh pengambil kebijakan dan pengelola sumber daya air untuk merumuskan strategi mitigasi risiko banjir yang lebih efektif, efisien, dan mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan merujuk pada intervensi manusia terhadap lahan untuk memenuhi kebutuhan material dan spiritual [17]. Secara umum, tata guna lahan menggambarkan fungsi suatu wilayah, misalnya sebagai lahan perumahan, area persawahan, kawasan hutan, atau jaringan jalan. Perubahan penggunaan lahan didefinisikan sebagai transisi lahan dari satu jenis penggunaan ke jenis lainnya, yang seringkali mengakibatkan berkurangnya luas area jenis penggunaan lahan sebelumnya dalam periode tertentu [18]. Di daerah perkotaan, perubahan ini didorong oleh pertumbuhan penduduk dan kebutuhan lain yang mendorong pertumbuhan wilayah [19]. Perubahan lahan yang signifikan melibatkan proses seperti deforestasi, urbanisasi, dan pengembangan infrastruktur [20]. Dampak Perubahan Lahan: Perubahan lahan dari area tangkapan air alami seperti hutan menjadi kawasan permukiman mengganggu kapasitas penyerapan tanah atau infiltrasi, yang secara langsung mengakibatkan peningkatan aliran permukaan [21][22].

### 2.2 Debit Banjir

Debit banjir ( $Q$ ) adalah volume air yang mengalir melalui sungai atau saluran drainase dalam periode waktu tertentu, menjadikannya indikator krusial dalam penilaian risiko banjir [23]. Debit banjir maksimum merujuk pada volume air yang melewati suatu titik di sungai ketika sungai meluap akibat hujan lebat [24]. Semakin besar debit banjir, semakin besar risiko yang ditimbulkan jika tidak dikelola dengan baik [25][26]. Debit banjir dapat terjadi akibat hujan lebat, kondisi tanah yang tidak menyerap air, atau perubahan penggunaan lahan [27]. Debit banjir ditentukan oleh beberapa faktor utama, yang berasal dari kondisi alam dan aktivitas manusia [28]:

1. Faktor Alam: Durasi dan intensitas hujan, bentuk dan ukuran Daerah Aliran Sungai (DAS), serta karakteristik kemiringan dan tekstur tanah.
2. Faktor Manusia (Tata Guna Lahan): Perubahan penggunaan lahan dapat memengaruhi debit banjir melalui tiga mekanisme hidrologi
3. Infiltrasi: Perubahan tutupan lahan memengaruhi penyerapan air ke dalam tanah, yang secara langsung berdampak pada volume aliran permukaan.
4. Evapotranspirasi: Perubahan vegetasi memengaruhi penguapan air dari permukaan tanah dan transpirasi tumbuhan, memengaruhi ketersediaan air untuk aliran permukaan.
5. Waktu Konsentrasi: Perubahan topografi dan tutupan lahan dapat memengaruhi pola aliran air dan waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mencapai saluran drainase.

Secara umum, daerah yang didominasi oleh permukaan kedap air (impermeable) seperti bangunan dan jalan cenderung memiliki debit banjir yang lebih tinggi dibandingkan daerah dengan tutupan alami (hutan), karena air mengalir lebih cepat di permukaan keras [29], [30].

### 2.3 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah area daratan yang dibatasi oleh batas topografi (bukit atau gunung), di mana semua curah hujan mengalir ke satu sungai utama [31]. DAS berfungsi sebagai penampungan, penyimpanan, dan distribusi air [32]. Komponen utama DAS terdiri dari hulu, tengah, dan hilir [33]. Hulu, yang seringkali berhutan dengan lereng curam, sangat penting untuk menyerap air dan

mengendalikan erosi. Dampak Kerusakan DAS, yang sering terjadi akibat perubahan tutupan lahan seperti deforestasi, menyebabkan air hujan tidak terserap optimal, sehingga mengalir langsung dan mempercepat banjir [32]. Hilangnya vegetasi alami dan adanya erosi di hulu juga memicu sedimentasi di bagian hilir, yang menyempitkan aliran sungai dan memperparah dampak banjir [34].

### 3. Metode Penelitian

Studi ini dilakukan untuk menganalisis dampak perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir menggunakan pendekatan spasial melalui pemetaan perubahan penggunaan lahan. Studi ini menggunakan pendekatan deskriptif dan kuantitatif, dengan memanfaatkan data spasial dan hidrologi. Studi ini dilakukan di Kota Batam. Wilayah ini dipilih karena menunjukkan tren signifikan perubahan penggunaan lahan dalam beberapa tahun terakhir dan memiliki sejarah banjir yang sering terjadi.

#### 3.1 Jenis, Sumber, dan Analisis Data

Studi ini menggunakan dua jenis data: data primer dan data sekunder.

1. Data sekunder menggunakan informasi yang didapat dari literatur, laporan penelitian sebelumnya, buku-buku, jurnal, dan sumber relevan lainnya.
2. Data primer yang digunakan meliputi peta topografi, data hidro-klimatologi (curah hujan 10 tahun terakhir), tutupan lahan (hutan, pertanian, permukiman), data populasi, dan data perubahan tata guna lahan. Data ini digunakan untuk perhitungan debit banjir dan analisis dampak perubahan tata guna lahan.

Data yang dikumpulkan diolah dan dianalisis menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), khususnya aplikasi ArcGIS dengan fitur ArcMap, untuk mengidentifikasi pola perubahan tata guna lahan dan dampaknya terhadap limpasan permukaan dan debit banjir. Pemetaan tata guna lahan Batam diklasifikasikan menjadi badan air, lahan terbangun, sawah/ladang, hutan, lahan kosong, dan semak belukar, yang diperoleh melalui metode supervised classification dari citra satelit Landsat tahun 2014 dan 2023.

#### 3.2 Analisis Hidrologi dan Debit Banjir

Data curah hujan tahunan dikumpulkan untuk 10 tahun terakhir. Data curah hujan yang diperoleh digunakan untuk menganalisis debit banjir dan menentukan besarnya perubahan debit banjir akibat penggunaan lahan menggunakan pemodelan hidrologi yang terintegrasi dengan analisis penggunaan lahan. Debit banjir ( $Q$ ) dihitung menggunakan Metode Hidrologi untuk setiap periode ulang ( $T$ ) dari 2, 5, 10, 20, 25, 50, hingga 100 tahun [35]. Metode ini digunakan untuk memprediksi besarnya debit banjir yang direncanakan pada tahun 2014 dan 2023 untuk menentukan sejauh mana dampak perubahan penggunaan lahan di Kota Batam.

Analisis hidrologi bertujuan untuk menentukan besarnya debit banjir yang terjadi akibat perubahan tata guna lahan dari tahun 2014 ke 2023 [36]. Perhitungan debit banjir maksimum rencana ( $Q$ ) untuk berbagai periode ulang menggunakan Metode Rasional.

Metode Rasional umumnya digunakan untuk menghitung debit puncak pada daerah aliran sungai (DAS) kecil atau kawasan perkotaan. Formula yang digunakan adalah:

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

Keterangan:

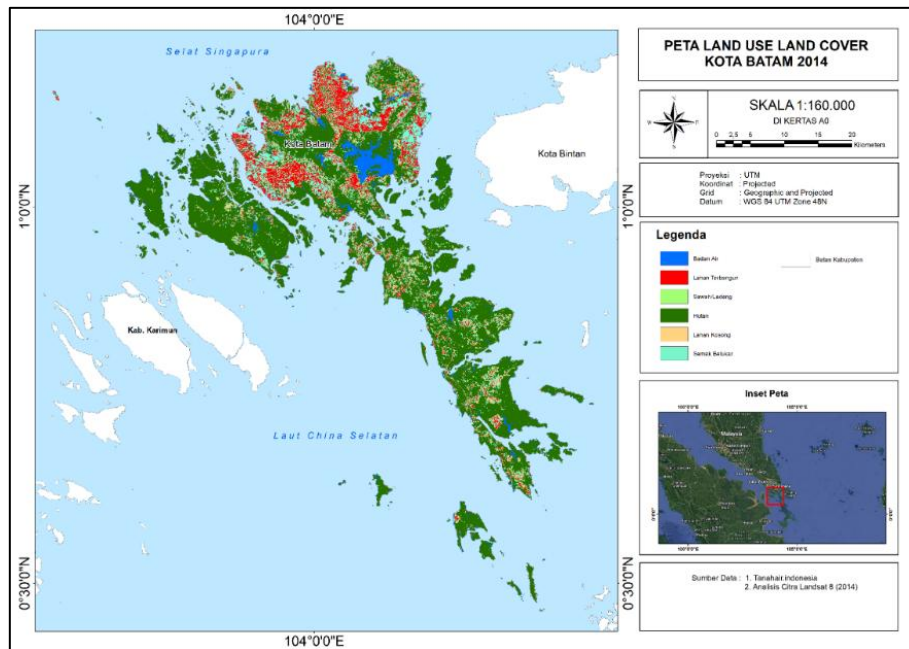
$Q$  = Debit banjir rencana ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$C$  = Koefisien limpasan

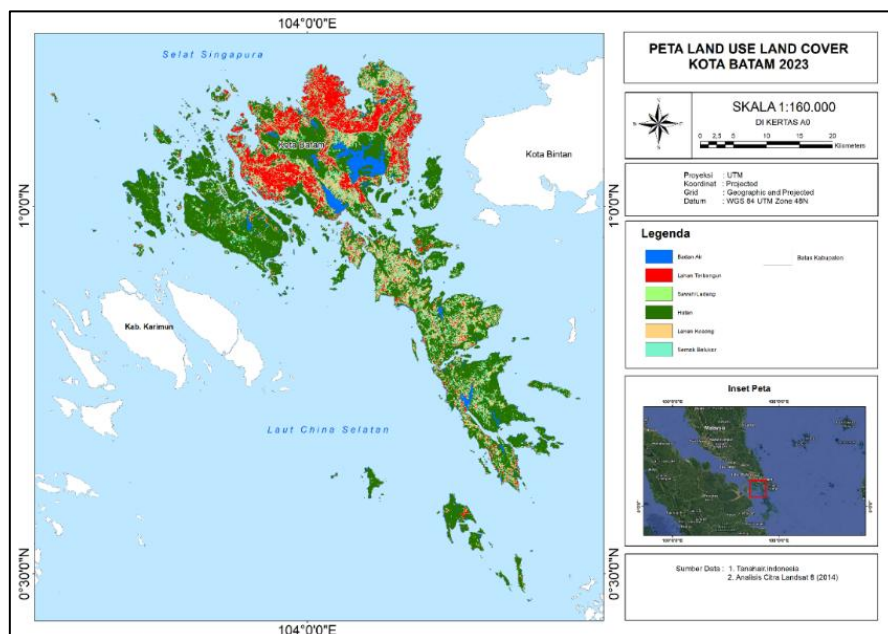
$I$  = Intensitas curah hujan (mm/jam)  
 $A$  = Luas Daerah Aliran Sungai/DAS (km<sup>2</sup>).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis spasial peta penggunaan lahan Kota Batam pada tahun 2014 dan 2023 (Gambar 1 dan Gambar 2), terjadi perubahan signifikan dalam pola penggunaan lahan yang secara langsung memengaruhi karakteristik hidrologi wilayah tersebut.



Gambar 1 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2014



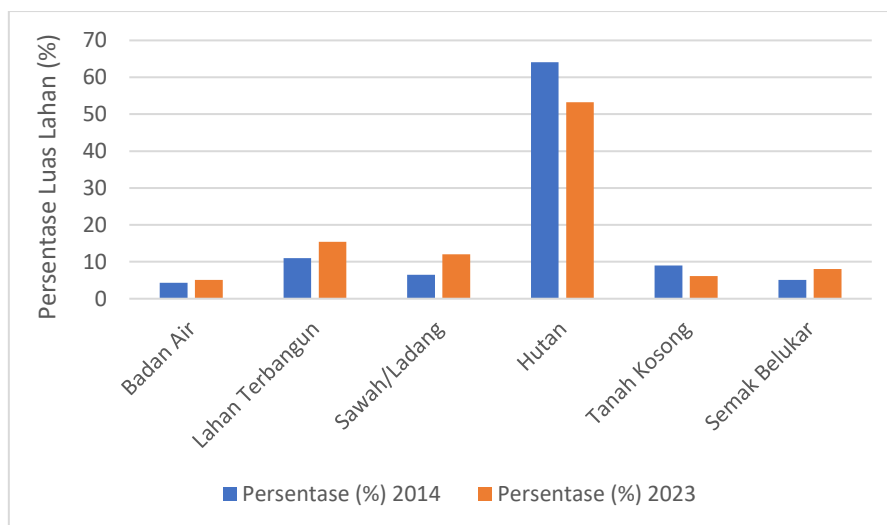
Gambar 2 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2023

#### 4.1 Analisis Perubahan Tata Guna Lahan

Perbandingan antara peta tata guna lahan tahun 2014 dan 2023, yang diklasifikasikan menjadi enam kelas utama, menunjukkan adanya transformasi yang cepat akibat urbanisasi. Perubahan paling mencolok adalah ekspansi luas lahan terbangun, yang pada tahun 2014 terkonsentrasi di pusat kota, namun pada tahun 2023 telah meluas hingga mencakup hampir seluruh bagian utara dan sebagian area tengah Pulau Batam yang dapat di lihat pada (tabel 1).

Tabel 1 Perubahan Tata Guna Lahan Tahun 2014 – 2023

Land Use	Persentase (%)	
	2014	2023
Badan Air	4,32	5,13
Lahan Terbangun	10,96	15,46
Sawah/Ladang	6,5	12
Hutan	64,12	53,26
Tanah Kosong	8,97	6,14
Semak Belukar	5,14	8,01



Gambar 3 Grafik Perubahan Tata Guna Lahan Tahun 2014 - 2023

Berdasarkan hasil analisis spasial yang dilakukan terhadap peta penggunaan lahan Kota Batam dari tahun 2014 hingga 2023 mengungkapkan adanya transformasi cepat dalam pola tutupan lahan, terutama dipicu oleh proses urbanisasi yang agresif. Perbandingan yang diklasifikasikan ke dalam enam kategori utama menunjukkan ekspansi signifikan lahan terbangun, yang semula terkonsentrasi di pusat kota pada tahun 2014, namun pada tahun 2023 telah meluas hingga mencakup hampir seluruh bagian utara dan sebagian area tengah Pulau Batam.

Perubahan paling mencolok adalah penyusutan drastis kawasan hutan, yang berkurang sebesar 10,86%. Penurunan ini sebagian besar disebabkan oleh konversi masif lahan untuk permukiman, pertanian, dan pengembangan infrastruktur. Secara hidrologis, berkurangnya area hutan ini secara

langsung melemahkan peran kawasan hutan sebagai penyangga alami dan mekanisme pengendalian erosi, yang pada gilirannya meningkatkan risiko limpasan permukaan dan sedimentasi sungai.

Sebaliknya, lahan terbangun mengalami peningkatan signifikan sebesar 4,50%. Peningkatan ini sejalan dengan perluasan kawasan komersial dan permukiman, yang secara langsung mengganti permukaan permeabel dengan struktur kedap air seperti beton dan aspal. Secara singkat, pergeseran tutupan lahan dari kategori alami (Hutan) menjadi kategori terbangun dan produktif (Lahan Terbangun dan Sawah/Ladang) mempertinggi risiko banjir akibat hilangnya area resapan air.

#### 4.2 Analisis Debit Banjir dan Dampak Hidrologis

Analisis hidrologi dilakukan dengan menggunakan data curah hujan maksimum tahunan selama 10 tahun dari tahun 2014 sampai 2023.

Tabel 2. Curah Hujan Maksimum

Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
2014	198,5
2015	210,8
2016	215,7
2017	200,4
2018	101,5
2019	116,7
2020	96,4
2021	221,1
2022	118
2023	155,7

Sumber: BPS Kota Batam

Tabel 3 Koefisien Limpasan (C)

Klasifikasi Data	Koefisien
Hutan	0,20
Sawah/Ladang	0,525
Semak Belukar	0,22
Lahan Terbangun	0,9
Lahan Kosong	0,6
Badan Air	0,6

Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara debit banjir yang diperoleh pada tahun 2014 dan 2023. Analisis komparatif ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif sejauh mana pengaruh perubahan tata guna lahan yang terjadi selama periode tersebut terhadap besaran debit banjir. Hasil rekapitulasi debit banjir dan besaran perubahannya dari tahun 2014 hingga 2023 akan disajikan dalam tabel 4 berikut.

Tabel 4 Rekapitulasi Debit Banjir Maksimum dan Perubahan dari Tahun 2014 ke 2023

Periode Ulang T (Tahun)	Curah Hujan Rencana (RT) (mm)	Q 2014 (m <sup>3</sup> /det)	Q2023 (m <sup>3</sup> /det)	Perubahan (m <sup>3</sup> /det) ΔQ	Perubahan (%)
2	144,63	206,94	231,52	24,58	11,89
5	193,10	276,14	308,98	32,84	11,89
10	237,84	340,11	308,51	40,40	11,89
25	315,43	451,04	504,64	53,60	11,89
50	192,44	561,08	627,78	66,70	11,89
100	496,53	710,18	794,62	84,44	11,89
<b>Rata - rata Perubahan</b>				<b>50,47</b>	<b>11,89</b>

Hasil dari tabel 4 menunjukkan peningkatan debit banjir yang sangat signifikan dan konsisten di seluruh periode ulang. Peningkatan rata-rata debit mencapai 11,89% atau sekitar 50,47 m<sup>3</sup>/detik.

Peningkatan debit banjir secara langsung disebabkan oleh perubahan tata guna lahan dari permukaan penyerap air (hutan) menjadi permukaan kedap air (lahan terbangun). Urbanisasi yang pesat di Batam, yang ditunjukkan oleh hilangnya 10,86% hutan dan penambahan 4,5% lahan terbangun, telah menyebabkan penurunan drastis kapasitas infiltrasi tanah dan peningkatan signifikan limpasan permukaan. Permukaan kedap air seperti beton dan aspal pada area pemukiman dan infrastruktur (lahan terbangun) mencegah air hujan meresap ke dalam tanah. Akibatnya, air mengalir lebih cepat dan dalam volume yang lebih besar ke saluran drainase dan sungai, sehingga meningkatkan debit puncak banjir. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa perubahan lahan menjadi area terbangun mengurangi kapasitas serapan air, yang berujung pada peningkatan limpasan. Dampak dari perubahan ini adalah bertambahnya risiko banjir di Kota Batam, sebagaimana dikonfirmasi oleh rata-rata peningkatan debit sebesar 11,89 %. Oleh karena itu, hasil studi ini menegaskan perlunya kebijakan tata ruang yang berkelanjutan dan penekanan pada pelestarian fungsi hidrologis kawasan resapan air untuk meminimalkan risiko bencana banjir di masa depan.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.2 Kesimpulan

Penelitian ini menguji secara komprehensif dan visual dampak perubahan tata guna lahan terhadap debit banjir di Kota Batam dari tahun 2014 hingga 2023, menggunakan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan perhitungan hidrologi Metode Rasional.

Analisis menunjukkan adanya transformasi lahan yang cepat dan signifikan yang dipicu oleh proses urbanisasi. Perubahan paling mencolok adalah:

1. Penyusutan drastis kawasan hutan sebesar 10,86%.
2. Peningkatan signifikan lahan terbangun sebesar 4,50%.
- 3.

Pergeseran ini, dari lahan alami (hutan) yang berfungsi sebagai penyerap air menjadi permukaan kedap air (lahan terbangun, beton, dan aspal), melemahkan kapasitas infiltrasi tanah dan meningkatkan limpasan permukaan secara drastis. Hasil perhitungan debit banjir maksimum rencana (Q) untuk berbagai periode ulang (T) menegaskan temuan ini, menunjukkan peningkatan debit banjir yang sangat signifikan dan konsisten di seluruh periode ulang. Peningkatan rata-rata debit banjir mencapai 11,89% atau sekitar 50,47 m<sup>3</sup>/detik dari tahun 2014 ke 2023. Studi ini menyimpulkan bahwa urbanisasi yang agresif dan konversi hutan menjadi lahan terbangun di Kota Batam telah secara langsung dan kuantitatif memperburuk kondisi hidrologis wilayah, yang berujung pada peningkatan risiko bencana banjir. Oleh

karena itu, diperlukan kebijakan tata ruang yang berkelanjutan yang menekankan pelestarian fungsi kawasan resapan air untuk memitigasi risiko banjir di masa depan.

## 5.2 Saran

1. Pemerintah daerah perlu mengendalikan konversi lahan hutan dan meningkatkan perlindungan kawasan resapan air.
2. Perlu penerapan konsep pembangunan berkelanjutan, seperti ruang terbuka hijau dan sistem drainase berwawasan lingkungan.
3. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan model hidrologi yang lebih detail dan mempertimbangkan variabilitas iklim jangka panjang.

## Daftar Pustaka

- [1] F. Jerome Glago, "Flood Disaster Hazards; Causes, Impacts and Management: A State-of-the-Art Review," in *Natural Hazards - Impacts, Adjustments and Resilience*, IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.95048.
- [2] B. Gan, X. Liu, X. Yang, X. Wang, and J. Zhou, "The impact of human activities on the occurrence of mountain flood hazards: lessons from the 17 August 2015 flash flood/debris flow event in Xuyong County, south-western China," *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, vol. 9, no. 1, pp. 816–840, Jan. 2018, doi: 10.1080/19475705.2018.1480539.
- [3] S. A. Maskrey, N. J. Mount, and C. R. Thorne, "Doing flood risk modelling differently: Evaluating the potential for participatory techniques to broaden flood risk management decision-making," *J. Flood Risk Manag.*, vol. 15, no. 1, Mar. 2022, doi: 10.1111/jfr3.12757.
- [4] M. Bentivenga, S. I. Giano, and M. Piccarreta, "Recent Increase of Flood Frequency in the Ionian Belt of Basilicata Region, Southern Italy: Human or Climatic Changes?," *Water*, vol. 12, no. 7, p. 2062, Jul. 2020, doi: 10.3390/w12072062.
- [5] G. Blöschl, "Three hypotheses on changing river flood hazards," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 26, no. 19, pp. 5015–5033, Oct. 2022, doi: 10.5194/hess-26-5015-2022.
- [6] M. A. Wahyudi, A. J. Saputra, and A. Savitri, "Analisis Kapasitas Saluran Drainase pada Wilayah Rawan Banjir dengan Menggunakan Pemodelan Perangkat Lunak SWMM," *Media Konstr.*, vol. 10, no. 1, pp. 83–94, 2025, doi: 10.33772/jmk.v10i1.96.
- [7] M. R. Fauzi, "Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Cilangla (Analysis Effect of Land Cover Change on Flood Discharge in Cilangla Watershed)," 2022.
- [8] Z. Yaqhdhan and L. Utama, "Analisa Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Das Batang Timpeh," 2023.
- [9] H. Chauhan, B. K. Mishra, S. Nath Rajan, A. Tiwari, and A. Goel, "Land Cover Analysis and Change Detection: Comprehensive Study with Linear Regression Prediction," in *2024 1st International Conference on Advanced Computing and Emerging Technologies (ACET)*, Aug. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ACET61898.2024.10730346.
- [10] E. Janicka and J. Kanclerz, "Assessing the Effects of Urbanization on Water Flow and Flood Events Using the HEC-HMS Model in the Wiryńka River Catchment, Poland," *Water*, vol. 15, no. 1, p. 86, Dec. 2022, doi: 10.3390/w15010086.
- [11] A. Bylak *et al.*, "Small stream catchments in a developing city context: The importance of land cover changes on the ecological status of streams and the possibilities for providing ecosystem services," *Sci. Total Environ.*, vol. 815, p. 151974, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151974.

- [12] H. Joo, W. Choi, and C. Jeon, "Selection of representative indicators for flood risk assessment using marginal entropy and mutual information," *J. Flood Risk Manag.*, vol. 17, no. 2, Jun. 2024, doi: 10.1111/jfr3.12976.
- [13] A. Shawul and S. Chakma, "The Response of Peak Discharge and Sedimentation to the Land Use/Land Cover Change Scenarios in the Upper Awash Basin, Ethiopia." Jan. 28, 2019. doi: 10.1002/essoar.10500582.1.
- [14] R. Saher, T. Ali Shaikh, S. Ahmad, and H. Stephen, "Analysis of Changes in Runoff Due to Land Cover Change," in *Watershed Management 2020*, Jul. 2020, pp. 245–256. doi: 10.1061/9780784483060.022.
- [15] Q. Zheng, L. Hao, X. Huang, L. Sun, and G. Sun, "Effects of Urbanization on Watershed Evapotranspiration and Its Components in Southern China," *Water*, vol. 12, no. 3, p. 645, Feb. 2020, doi: 10.3390/w12030645.
- [16] A. Yulianur, S. Sugianto, and F. M. Puspita, "A Simple Method to Develop a Formula for Estimating Concentration Time of Drainage Design," *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 137–142, Jan. 2020, doi: 10.13170/aijst.8.3.14819.
- [17] S. Soni, D. S. Shiwani, and A. Arora, "Impact of Land Cover Land Use Changes (LCLUC) on Earth Resources & Human Life – A Literature Survey," *SSRN Electron. J.*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3549156.
- [18] K. Winkler, R. Fuchs, M. Rounsevell, and M. Herold, "Global land use changes are four times greater than previously estimated," *Nat. Commun.*, vol. 12, no. 1, p. 2501, May 2021, doi: 10.1038/s41467-021-22702-2.
- [19] N. Irfan Asyari, S. R. P Sitorus, and A. Wicaksono, "Land Use Change Pattern of Change and Strategy Directions for Spatial Utilization Control in Bogor Regency," *J. World Sci.*, vol. 3, no. 7, pp. 732–749, Jul. 2024, doi: 10.58344/jws.v3i7.665.
- [20] R. Mahtta *et al.*, "Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities," *npj Urban Sustain.*, vol. 2, no. 1, p. 5, Feb. 2022, doi: 10.1038/s42949-022-00048-y.
- [21] Sukisno, Widiatmaka, J. J. Purwanto, B. Pramudya N, and K. Munibah, "A Review of Land Use Land Cover Change in The Catchment Area of Musi Hydropower Plant in Bengkulu Province," *E3S Web Conf.*, vol. 305, p. 04001, Sep. 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202130504001.
- [22] E. Alshammari, A. A. Rahman, R. Rainis, N. A. Seri, and N. F. A. Fuzi, "The Impacts of Land Use Changes in Urban Hydrology, Runoff and Flooding: A Review," *Curr. Urban Stud.*, vol. 11, no. 01, pp. 120–141, 2023, doi: 10.4236/cus.2023.111007.
- [23] J. C. Balasch, J. Tuset, M. Barriendos, X. Castelltort, and D. Pino, "The unit peak discharge as a tool for flood magnitude comparison and analysis." Mar. 04, 2021. doi: 10.5194/egusphere-egu21-11192.
- [24] I. Sahdar, D. Rohmat, and W. A. Pranoto, "Analysis of Peak Flood Discharge in Small-Scale River Flow Area," *IJEED (International J. Entrep. Bus. Dev.)*, vol. 6, no. 2, pp. 244–253, Mar. 2023, doi: 10.29138/ijeed.v6i2.2128.
- [25] H. Basri, S. Syakur, A. Azmeri, and E. Fatimah, "Floods and their problems: Land uses and soil types perspectives," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 951, no. 1, p. 012111, Jan. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/951/1/012111.
- [26] I. Indrastuti and Y. Yunita, "Analisis Sistem Drainase terhadap Genangan (Banjir) di Kota Batam (studi kasus: jalan duyung kecamatan batu ampar)" *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 1(2), pp. 183-189, 2020.
- [27] J. Elisabeth Sitorus, D. H. Wisanggeni, A. A. Salsabila, and M. S. Badri Kusuma, "The Assessment of Peak Discharge Increment Due to Land Use Change in the Serang Welahan Drainage 1 (SWD 1) River, Central Java Province, Semarang," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 9, no. 2, pp. 293–302, Oct.

- 2024, doi: 10.29244/jsil.9.2.293-302.
- [28] D.-V. Hoang and Y.-A. Liou, "Assessing the influence of human activities on flash flood susceptibility in mountainous regions of Vietnam," *Ecol. Indic.*, vol. 158, p. 111417, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.111417.
- [29] N. Chhinh, S. Rath, and K. Choeun, "Alteration of Flood Peak Discharge by Land Cover Change in Prek Thnot Watershed, Kampong Speu Province, Cambodia," *Insight Cambodia J. Basic Appl. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 22–33, Feb. 2024, doi: 10.61945/cjbar.2023.5.2.04.
- [30] J. C. Bathurst, B. Fahey, A. Iroumé, and J. Jones, "Forests and floods: Using field evidence to reconcile analysis methods," *Hydrol. Process.*, vol. 34, no. 15, pp. 3295–3310, Jul. 2020, doi: 10.1002/hyp.13802.
- [31] S. L. Letsinger, A. Balberg, E. Hanna, and E. K. Hiatt, "Geohydrology: Watershed Hydrology," in *Encyclopedia of Geology*, Elsevier, 2021, pp. 442–456. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.12389-9.
- [32] I. G. A. P. Eryani, M. W. Jayantari, and I. N. N. Artana, "Study of Yeh Embang Watershed Characteristics for Sustainable Water Management," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1117, no. 1, p. 012060, Dec. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1117/1/012060.
- [33] Y. Zhou, "Watershed Hydrology and Land-Use and Land-Cover Change (LULCC)," in *Fresh Water and Watersheds*, Second edition. | Boca Raton: CRC Press, [2020] | Revised edition of: Encyclopedia of natural resources. [2014].: CRC Press, 2020, pp. 221–224. doi: 10.1201/9780429441042-32.
- [34] V. B. P. Chagas, P. L. B. Chaffe, and G. Blöschl, "Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle," *Nat. Commun.*, vol. 13, no. 1, p. 5136, Sep. 2022, doi: 10.1038/s41467-022-32580-x.
- [35] Z. Arifin and A. Maulidiyah, "Analisa Debit Banjir Rencana DAS Rejoso Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu," *J. Komposit*, vol. 9, no. 1, pp. 17–26, Feb. 2025, doi: 10.32832/komposit.v9i1.17597.
- [36] T. Susilawati and Maulani Ikhsan, "Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Air," *J. TAMBORA*, vol. 8, no. 1, pp. 11–18, Jan. 2024, doi: 10.36761/tambora.v8i1.3506.