

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1 Banjir**

Banjir, sebagai fenomena alam, dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan di mana air menggenangi wilayah yang biasanya tidak terendam, seringkali diakibatkan oleh curah hujan yang berlebihan, meluapnya sungai, atau berbagai faktor lainnya (David Victor Mamengko, 2024). Banjir dapat diartikan sebagai suatu kondisi di mana air menggenangi wilayah yang biasanya tidak terendam, sering kali disebabkan oleh peningkatan curah hujan, meluapnya sungai, atau faktor lainnya (Arsyad, 2022). Para ahli menjelaskan bahwa penyebab banjir dapat dikategorikan menjadi faktor alami dan antropogenik. Faktor alami seperti curah hujan tinggi dan kondisi geografi suatu wilayah dapat menyebabkan banjir. Sementara itu, faktor antropogenik meliputi perubahan penggunaan lahan, pengelolaan air yang buruk, dan penebangan hutan yang mengganggu ekosistem (Haris, Sitorus, & Tjahjono, 2022). Penyebab utama banjir termasuk faktor alam seperti hujan lebat dan meluapnya sungai, serta faktor manusia seperti perubahan penggunaan lahan, urbanisasi, dan pengelolaan air yang kurang baik. Pembendungan sungai dan pembukaan lahan yang mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air juga memperbesar risiko terjadinya banjir (Farizkha, Sukarmawati, Nurrahman, & Nugraha, 2022).

Banjir dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, termasuk banjir bandang, banjir rob, banjir luapan sungai, banjir genangan, dan banjir stagnan. Masing-masing jenis banjir memiliki penyebab dan karakteristik yang berbeda, serta dampak yang dapat ditimbulkan pada masyarakat dan lingkungan (Sejati, Sugiarto, Anasi, Utaya, & Bachri, 2022).

Pada penelitian yang dilakukan akan menangani permasalahan yang ditimbulkan dari jenis banjir genangan yang berada di area pemukiman urban.

##### **2.1.1.1 Banjir Genangan**

Banjir genangan merujuk pada kondisi di mana air hujan, atau air lainnya, terakumulasi di area tertentu tanpa saluran untuk mengalirkan air tersebut. Hal ini sering terjadi di daerah dataran rendah atau area yang memiliki

sistem drainase yang tidak memadai. Penyebab utama banjir genangan termasuk curah hujan yang tinggi, perubahan penggunaan lahan, dan infrastruktur drainase yang kurang baik. Faktor lain seperti urbanisasi yang cepat mengurangi area resapan air, sehingga meningkatkan potensi limpasan permukaan.

Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan peningkatan debit aliran permukaan dan genangan banjir. Peningkatan curah hujan dapat menyebabkan meluapnya air ke daerah yang tidak dapat menampung aliran tersebut, berpotensi menciptakan genangan (Zainuddin, Selintung, & Lopa, 2023). Di daerah tertentu, khususnya yang memiliki kondisi topografi yang rendah, curah hujan yang signifikan sering kali berakibat pada situasi banjir yang lebih parah, karena kapasitas saluran pembuangan yang tidak memadai.

Perubahan tutupan lahan, seperti konversi lahan hijau menjadi area yang terbangun, juga berkontribusi pada peningkatan risiko banjir genangan. Dengan berkurangnya vegetasi yang dapat menyerap air, lahan menjadi lebih rentan terhadap limpasan yang berlebih. Penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi lahan berdampak langsung pada kemampuan lahan untuk menyerap air hujan, yang dapat meningkatkan kejadian banjir di wilayah perkotaan (Farid, et al., 2021).

Interaksi antara curah hujan dan tutupan lahan sangat penting dalam menentukan potensi genangan banjir. Wilayah dengan curah hujan tinggi dan tutupan lahan yang berkurang mendapati bahwa limpasan permukaan meningkat secara drastis, memperburuk genangan banjir. Sebagai contoh, di kawasan industri, perubahan tutupan lahan akibat pembangunan yang tidak terkendali dapat menyebabkan ketidakmampuan tanah untuk menyerap air, sehingga meningkatkan risiko banjir (Nurkhaerani, Debora, & Solehudin, 2023).

Sistem drainase yang buruk atau tidak memadai merupakan faktor signifikan lain yang menyebabkan banjir genangan. Ketika saluran drainase tersumbat oleh sampah, lumpur, atau material lainnya, aliran air menjadi terhambat, memperbesar risiko genangan air di permukaan (Ariyani, Jarwadi, Sunarti, & Perdinan, 2022).

### 2.1.2 Sistem Drainase

Drainase merujuk pada sistem atau proses yang dirancang untuk mengeluarkan air dari area tertentu, seperti tanah, bangunan, atau struktur lainnya. Drainase dapat didefinisikan sebagai proses atau sistem yang digunakan untuk mengelola aliran air di permukaan tanah, dengan tujuan utama untuk mencegah terjadinya genangan air. Sistem drainase berfungsi untuk mengalirkan air dari area yang kurang produktif atau rentan terhadap banjir ke lokasi yang lebih aman, sehingga menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung kegiatan manusia.

Tak hanya itu, tujuan utama dari sistem drainase adalah untuk melindungi tanah dan bangunan dari kerusakan akibat kelebihan air, dan untuk meningkatkan kualitas tanah. Sistem drainase yang baik akan mendukung pertumbuhan tanaman dengan memastikan bahwa tanah tidak terlalu basah, serta mengurangi risiko erosi tanah oleh hujan atau aliran air yang kuat.

Penerapan sistem drainase yang efektif sangat penting terutama di daerah-daerah yang sering mengalami banjir. Sistem ini tidak hanya melindungi infrastruktur dan properti, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan air tanah dan kualitas air secara keseluruhan. Tanpa sistem drainase yang baik, daerah tersebut bisa mengalami masalah serius seperti kerusakan tanah, penurunan produktivitas pertanian, dan peningkatan penyakit terkait air. Terdapat beberapa jenis drainase yang masing-masing memiliki fungsi dan karakteristik spesifik, yaitu:

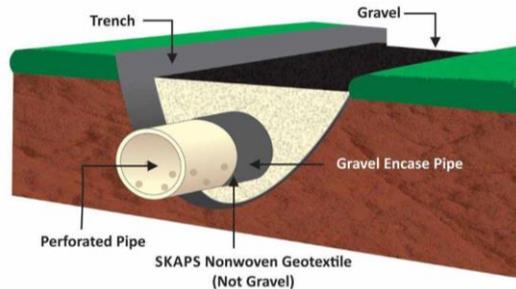
- **Drainase Permukaan**

Drainase permukaan dirancang untuk mengalirkan air yang berada di permukaan tanah akibat hujan atau pencairan salju. Sistem ini biasanya melibatkan parit, saluran terbuka, dan corong air yang mengarahkan air ke daerah yang lebih rendah atau ke sistem pembuangan. Tujuan dari drainase permukaan adalah menghindari genangan air yang dapat merusak tanaman dan infrastruktur.

- **Drainase Bawah Tanah**

Drainase bawah tanah berfungsi untuk menurunkan tingkat air tanah yang dapat mengganggu aktivitas pertanian atau pembangunan. Sistem ini sering kali menggunakan pipa perforasi yang diletakkan di bawah permukaan tanah

untuk mengumpulkan dan mengalirkan air tanah. Keberadaan drainase ini membantu meningkatkan kesuburan tanah dengan mengurangi genangan dan meningkatkan sirkulasi udara di dalam tanah.



**Gambar 2. 1** Skema Drainase Bawah Tanah

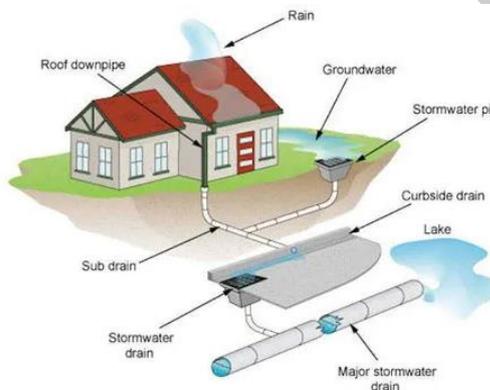
Sumber: <https://blog.kliknclean.com/apa-itu-drainase/>

- Drainase Limbah

Drainase limbah ditujukan khusus untuk mengelola air limbah dari rumah tangga, industri, dan fasilitas publik lainnya. Sistem ini terdiri dari saluran pembuangan yang membawa air limbah menuju instalasi pengolahan. Mengelola air limbah dengan efektif penting untuk menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, mencegah pencemaran, serta menjaga kualitas sumber air.

- Drainase Hujan

Drainase hujan difokuskan pada pengelolaan aliran air hujan di kawasan perkotaan. Biasanya terdiri dari sistem saluran pembuangan yang mengarahkan air hujan dari atap bangunan dan jalan menuju saluran pembuangan umum. Hal ini membantu mengurangi risiko banjir yang sering terjadi di daerah perkotaan akibat curah hujan yang tinggi.



**Gambar 2. 2** Skema Drainase Hujan

Sumber: [https://www.builder.id/manfaat-sistemdrainase/#google\\_vignette](https://www.builder.id/manfaat-sistemdrainase/#google_vignette)

- Drainase Konstruksi

Drainase konstruksi adalah jenis drainase yang digunakan selama tahap pembangunan untuk mengalirkan air yang mungkin mengganggu proses konstruksi. Ini sangat penting untuk menjaga stabilitas fondasi dan mencegah kerusakan akibat genangan air. Drainase jenis ini perlu direncanakan dan diimplementasikan dengan baik agar proyek konstruksi dapat berjalan lancar.

### 2.1.3 Curah hujan

Curah hujan adalah jumlah, frekuensi, dan distribusi air yang jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk cair (hujan) atau padat (salju atau hujan es). Secara teknis, curah hujan diukur sebagai tinggi air yang terkumpul pada permukaan vertikal jika tidak terjadi infiltrasi, limpasan, atau penguapan. Curah hujan merupakan salah satu komponen utama siklus air dan berperan penting dalam banyak aspek kehidupan, termasuk pertanian, pengelolaan air, dan studi lingkungan.

Curah hujan merupakan bagian penting dari siklus hidrologi Bumi dan memengaruhi berbagai aktivitas lingkungan dan manusia. Hujan merupakan jenis presipitasi yang terjadi ketika uap air di atmosfer mengembun menjadi titik-titik air yang jatuh ke tanah. Untuk memahami presipitasi, kita perlu mempelajari pengukuran, prediksi, dan pola kejadiannya. Presipitasi didefinisikan sebagai jumlah presipitasi yang jatuh di area tertentu selama periode waktu tertentu. Presipitasi merupakan jenis presipitasi yang terjadi akibat kondensasi uap air di atmosfer menjadi titik-titik air yang cukup berat untuk jatuh ke tanah. Pengukuran presipitasi biasanya dinyatakan dalam milimeter, dengan 1 milimeter presipitasi sama dengan 1 liter air per meter persegi (Syarifuddin, Ramadan, Khurniawan, Hadiyoso, & Aulia, 2021).

Curah hujan yang terlalu sedikit dapat menyebabkan kekeringan, sedangkan curah hujan yang terlalu banyak dapat menyebabkan banjir. Oleh karena itu, memahami curah hujan sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, mitigasi bencana, dan membangun infrastruktur yang tangguh terhadap kondisi cuaca ekstrem.

Curah hujan erat kaitannya dengan kondisi tutupan lahan di suatu daerah. Perubahan tutupan lahan, seperti urbanisasi, penggundulan hutan atau Pengelolaan lahan pertanian dapat mempengaruhi pola curah hujan, laju infiltrasi dan limpasan

permukaan. Penelitian tentang interaksi antara curah hujan dan tutupan lahan penting untuk memahami dampak perubahan penggunaan lahan terhadap siklus hidrologi dan lingkungan.

Curah hujan merupakan salah satu unsur utama analisis hidrologi karena merupakan sumber utama terjadinya siklus hidrologi. Dalam penelitian ini, data curah hujan digunakan untuk mengevaluasi potensi limpasan air permukaan dan kapasitas infiltrasi yang dikelola oleh modul perkerasan hijau. Kawasan pemukiman perkotaan seringkali menghadapi permasalahan pengelolaan air akibat curah hujan yang tinggi dan kurangnya resapan tanah. Jadi sangat penting untuk memahami curah hujan. mendukung desain dan penerapan sistem perkerasan jalan hijau yang efektif.

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari beberapa sumber, seperti:

- a) Stasiun pengamatan hujan. Data dari stasiun curah hujan yang terletak di sekitar wilayah studi digunakan sebagai dasar untuk menghitung sebaran curah hujan.
- b) Data sekunder. Data historis curah hujan dari lembaga meteorologi atau instansi terkait yang mencakup periode tertentu.
- c) Pengukuran Bidang. Jika memungkinkan, pengukuran langsung dilakukan di lokasi penelitian untuk memvalidasi data curah hujan dari sumber lain.

Pengolahan data curah hujan meliputi:

- a) Verifikasi Data. Mengevaluasi kelengkapan dan konsistensi data dari masing-masing sumber.
- b) Analisis statistik. Menghitung rata-rata, intensitas maksimum, frekuensi kejadian dan durasi curah hujan untuk memahami pola curah hujan di wilayah studi.
- c) Distribusi spasial. Menggunakan metode *Thiessen* atau interpolasi lainnya estimasi distribusi rata-rata curah hujan di wilayah studi.

Data curah hujan digunakan dalam beberapa aspek analisis hidrologi dalam penelitian ini:

- a) Evaluasi kekasaran permukaan. Data curah hujan digunakan untuk menghitung volume limpasan dengan menggunakan metode rasional atau model hidrologi lainnya. Aliran ini merupakan indikator penting untuk mengukur efektivitas modul perkerasan hijau dalam pengurangan banjir.
- b) Perhitungan kapasitas infiltrasi. Intensitas curah hujan dalam kaitannya dengan kapasitas infiltrasi modul perkerasan hijau untuk menilai kemampuan sistem dalam menyerap air hujan.
- c) Simulasi sistem drainase hijau. Data curah hujan dimasukkan ke dalam simulasi hidrologi untuk merancang kinerja sistem perkerasan hijau dalam kondisi cuaca yang berbeda.

Analisis curah hujan berperan penting dalam memahami dinamika hidrologi kawasan perkotaan dan mendukung pengembangan modul perkerasan hijau. Melalui analisa yang komprehensif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi efektif dalam mengelola air hujan, mengurangi risiko banjir dan meningkatkan keberlanjutan kawasan pemukiman perkotaan. Curah hujan dan stasiun curah hujan mempunyai keterkaitan yang erat karena stasiun curah hujan merupakan sumber utama pengukuran dan pencatatan data curah hujan pada suatu daerah.

#### **2.1.4 Stasiun hujan**

Stasiun hujan adalah suatu tempat yang dilengkapi dengan alat untuk mengukur curah hujan, misalnya alat pengukur hujan. Stasiun ini berfungsi sebagai titik pengamatan untuk mencatat jumlah, intensitas, dan durasi curah hujan. Data stasiun hujan sangat penting untuk berbagai keperluan seperti:

- a) Analisis hidrologi.
- b) Perencanaan sumber daya air.
- c) Memantau cuaca dan kondisi cuaca.
- d) Prakiraan banjir dan kekeringan.

Curah hujan diukur sebagai volume air jatuh di permukaan bumi, biasanya dinyatakan dalam milimeter (mm) per satuan waktu (hari, bulan, atau tahun).

Pengukuran ini dilakukan dengan peralatan yang terletak pada stasiun pengendapan yang terletak pada lokasi tertentu. Banyaknya hujan yang diukur oleh stasiun hujan mewakili kondisi spesifik di sekitar lokasi tersebut. Sebaran spasial stasiun curah hujan mempengaruhi keakuratan representasi curah hujan di suatu wilayah. Semakin merata stasiun curah hujan, semakin baik, data curah hujan mencerminkan kondisi terkini di wilayah tersebut. Namun, jika sebaran stasiun curah hujan tidak merata, data yang diperoleh mungkin tidak cukup akurat untuk mewakili keseluruhan wilayah. Data curah hujan yang dikumpulkan dari berbagai stasiun curah hujan di suatu wilayah dapat dianalisis menjadi:

- a) Hitung curah hujan rata-rata menggunakan metode seperti mean aritmatika, metode Thiessen, atau metode isohietal.
- b) Mengidentifikasi pola curah hujan, seperti tren tahunan, bulanan atau musiman.
- c) Penentuan daerah banjir atau kekeringan berdasarkan sebaran curah hujan.

Dalam analisis hidrologi, ketersediaan data curah hujan yang lengkap dan konsisten merupakan faktor penting untuk menghasilkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Namun, tidak jarang ditemukan data kosong atau hilang pada catatan curah hujan akibat berbagai alasan, seperti kerusakan alat pengamatan, gangguan teknis, atau faktor cuaca ekstrem yang menghambat pencatatan. penanganan data kosong menjadi langkah penting untuk memastikan validitas hasil analisis yang berhubungan dengan pengelolaan limpasan air permukaan. Beberapa penyebab utama data kosong dalam pencatatan curah hujan meliputi:

- a) Kerusakan Peralatan. Peralatan pencatat curah hujan rusak karena faktor mekanis atau lingkungan.
- b) Keterbatasan operasional. Terbatasnya sumber daya manusia atau logistik untuk memelihara dan memantau stasiun observasi.
- c) Kondisi ekstrim. Bencana alam seperti angin topan atau banjir yang mengganggu pengamatan rutin.

Dampak dari adanya data kosong antara lain:

- a) Penurunan Keakuratan analisis hidrologi. Hasil perhitungan seperti perkiraan rata-rata curah hujan atau limpasan permukaan menjadi kurang representatif.
- b) Kesalahan perencanaan. Data yang salah dapat mengakibatkan model modul perkerasan hijau menjadi kurang optimal.
- c) Hambatan dalam validasi model. Model hidrologi sulit divalidasi tanpa data yang lengkap.

Untuk mengatasi data kosong dalam penelitian ini, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

a) Interpolasi data

Gunakan data dari stasiun curah hujan terdekat untuk memperkirakan nilai curah hujan yang hilang. Metode interpolasi yang digunakan antara lain:

- 1) Rata-Rata Bobot Jarak. Menggunakan data dari beberapa stasiun terdekat dengan bobot berbasis jarak.
- 2) Interpolasi temporal. menggunakan data curah hujan sebelum dan sesudah periode data kosong.

b) Analisis Korelasi

Identifikasi hubungan antara stasiun pengamatan yang mempunyai data lengkap dan yang datanya kosong. Data dari stasiun yang berkorelasi tinggi digunakan untuk mengisi data yang hilang.

b) Pendekatan Statistik

Gunakan teknik statistik seperti regresi linier atau analisis tren untuk memprediksi data yang hilang.

c) Penggunaan Data Alternatif

Gunakan data sekunder seperti radar cuaca, data satelit atau model numerik untuk menggantikan data yang hilang.

Pengelolaan data kosong memastikan rancangan sistem berjalan optimal, artinya modul perkerasan hijau dirancang berdasarkan perkiraan curah hujan yang akurat. Kemudian, analisis limpasan yang tepat dapat menghasilkan perhitungan

volume limpasan yang lebih mewakili kondisi tanah. Mengenai manajemen risiko meminimalisir kegagalan sistem akibat kesalahan data.

Pada penelitian ini menggunakan langkah interpolasi data untuk menangani data kosong yang didapatkan dari stasiun hujan yang dialiri oleh DAS Ciliwung dengan menghitung nilai rerata curah hujan terlebih dahulu berdasarkan rentang waktu 1996-2018 menggunakan persamaan thiessen yang ditunjukkan pada persamaan 2.1.

Berdasarkan persamaan tersebut dalam menghitung interpolasi data kosong didapatkan stasiun hujan yang dapat dijadikan sebagai data masukkan pada metode thiessen yaitu, BMKG Citeko, BMKG Halim, BMKG Kemayoran, BMKG Bogor. Dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun.

**Tabel 2. 1** Data Curah Hujan Selama 23 Tahun Dengan Periode Ulang 2 Tahun, 5 Tahun, dan 10 Tahun

<b>Thiessen</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
1996	65,41	79,44	86,47
1997	65,41	79,44	86,47
1998	64,31	77,9	84,95
1999	61,99	76,14	84,09
2000	60,7	74,64	82,79
2001	61,55	74,92	82,47
2002	62,94	80,1	91,13
2003	63,72	80,33	90,71
2004	62,87	79,09	89,44
2005	64,62	82,78	94,59
2006	65,39	83,11	94,37
2007	66,77	88,35	103,37
2008	66,17	87,18	101,96
2009	65,48	85,99	100,61
2010	65,24	85,22	99,51
2011	66,83	87,73	102,41
2012	65,55	86,67	101,55
2013	66,24	87,09	101,52
2014	67,74	89,9	105,2
2015	67,8	89,5	104,43
2016	67,78	89,05	103,64
2017	66,91	88	102,67
2018	67,66	88,64	102,98
<b>RERATA</b>	<b>65,18</b>	<b>83,53</b>	<b>95,54</b>

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

### 2.1.5 Metode Thiessen

Metode *Thiessen* merupakan metode yang digunakan dalam hidrologi untuk menghitung rata-rata curah hujan pada suatu daerah berdasarkan data curah hujan dari beberapa stasiun pengamatan. Metode ini sangat berguna ketika stasiun pengamatan tersebar tidak teratur atau ketika terdapat perbedaan besar dalam distribusi spasial curah hujan. Metode *Thiessen* didasarkan pada pembagian daerah pengamatan menjadi beberapa poligon yang disebut poligon Thiessen. Setiap poligon mewakili area yang paling dekat dengan stasiun tertentu dibandingkan dengan stasiun lainnya. Dengan demikian, setiap stasiun memiliki wilayah pengaruhnya masing-masing. Curah hujan rata-rata dihitung dengan mempertimbangkan kontribusi masing-masing stasiun, sesuai dengan luas poligon yang mewakilinya. Langkah-langkah penggunaan metode thiessen ialah sebagai berikut:

d) Plot Lokasi Stasiun

Gambarkan lokasi stasiun pengamatan curah hujan pada peta wilayah studi.

e) Hubungkan Stasiun dengan Garis Lurus

Hubungkan setiap stasiun dengan garis lurus sehingga membentuk jaringan segitiga (*Triangulasi Delaunay*).

f) Buat Garis Tegak Lurus dari Tengah Segmen

Dari setiap sisi segitiga, buat garis tegak lurus yang memotong tengah-tengah sisi. Perpotongan garis-garis ini akan membagi wilayah menjadi poligon Thiessen.

g) Hitung Luas Setiap Poligon

Ukur luas setiap poligon yang telah terbentuk menggunakan metode manual (misalnya dengan *grid*) atau perangkat lunak GIS.

h) Tentukan Curah Hujan Rata-Rata

Gunakan rumus berikut untuk menghitung curah hujan rata-rata wilayah:

$$P_{Rata-Rata} = \frac{\sum(P_i \times A_i)}{\sum A_i} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$P_i$  : Curah hujan di stasiun  $i$

$A_i$  : Luas poligon *Thiessen* untuk stasiun  $i$

Beberapa keterbatasan metode *Thiessen* dalam penelitian ini antara lain:

- a) Distribusi stasiun curah hujan yang tidak merata: Poligon *Thiessen* cenderung bias jika stasiun pengamatan tidak tersebar secara merata. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan evaluasi tambahan dengan menggunakan data spasial dan interpolasi.
- b) Abaikan Topografi: Kawasan pemukiman perkotaan yang mengalami perubahan ketinggian signifikan memerlukan analisis tambahan untuk memperhitungkan pengaruh topografi terhadap curah hujan.

Metode *Thiessen* merupakan pendekatan yang digunakan untuk menghitung distribusi rata-rata variabel meteorologi atau geospasial dari data dari beberapa titik pengukuran. Dengan membagi area studi menjadi poligon *Thiessen*, metode ini menggunakan jarak antara titik pengukuran untuk menentukan area pengaruh setiap titik, sehingga memberikan estimasi yang lebih akurat untuk area yang tidak tercakup langsung oleh data. Metode ini sering digunakan dalam studi hidrologi, klimatologi dan pemodelan spasial, karena kemampuannya memberikan estimasi distribusi spasial yang lebih baik dibandingkan dengan metode interpolasi sederhana lainnya.

Daerah pemukiman perkotaan seringkali menghadapi tantangan dalam mengelola limpasan air, terutama akibat curah hujan yang tinggi dan penggunaan lahan. tanah yang mendominasi permukaan kedap air. Penggunaan metode *Thiessen* menjadi penting dalam penelitian ini karena:

- a) Membantu memperkirakan curah hujan rata-rata regional dengan mempertimbangkan data dari stasiun pengamatan terdekat.
- b) Memberikan gambaran yang lebih representatif tentang sebaran curah hujan, yang menjadi dasar penentuan kapasitas dan kinerja modul perkerasan hijau.
- c) Mendukung analisis kuantitatif pengelolaan aliran permukaan berdasarkan data hidrologi terukur.

Melalui hasil analisis dengan metode *Thiessen*, dapat dirancang modul perkerasan hijau untuk mengatasi permasalahan air limpasan secara optimal, terutama pada kondisi perkotaan yang intensitas curah hujannya mengambang.

Hasil analisis dengan metode *Thiessen* memberikan beberapa kontribusi penting dalam penelitian ini:

- d) Estimasi Curah Hujan Rata-rata Wilayah. Memberikan perkiraan curah hujan yang merupakan data penting dalam menghitung kapasitas infiltrasi modul perkerasan hijau.
- e) Analisis Pengelolaan Limpasan. Data curah hujan rata-rata digunakan untuk memperkirakan volume limpasan permukaan yang akan dikelola oleh sistem drainase hijau di wilayah perkotaan.
- f) Perencanaan Strategis. Informasi sebaran curah hujan membantu mengembangkan strategi untuk memitigasi limpasan air, mengurangi risiko banjir, dan mendukung pembangunan infrastruktur hijau di kawasan pemukiman perkotaan.
- g) Validasi kinerja modul perkerasan hijau. Data dari metode *Thiessen* dibandingkan dengan data dari pengukuran infiltrasi dan pengurangan limpasan lapangan untuk mengevaluasi efektivitas modul perkerasan hijau.

Oleh karena itu, metode *Thiessen* menjadi bagian yang tidak terpisahkan analisis hidrologi mendukung pengembangan solusi alami untuk kawasan pemukiman perkotaan. Metode *Thiessen* menggunakan data curah hujan sebagai masukan utama untuk menentukan curah hujan rata-rata regional. Karena distribusi curah hujan di suatu wilayah seringkali tidak teratur, metode ini memungkinkan penghitungan rata-rata yang lebih representatif, dengan mempertimbangkan perbedaan pengaruh geografis setiap stasiun pengamatan.

Uji validitas dilakukan dengan membandingkan data interpolasi yang dihasilkan metode *Thiessen* dengan data observasi curah hujan sebenarnya, jika tersedia. Beberapa langkah yang digunakan untuk melakukan uji validasi antara lain:

- a) Pemilihan titik pengamatan validasi. Memilih beberapa titik pengamatan curah hujan yang tidak digunakan dalam proses interpolasi untuk digunakan sebagai data validasi. Poin-poin ini harus mewakili berbagai kondisi geografis dan lingkungan yang ada di wilayah tersebut. kawasan pemukiman perkotaan.
- b) Perbandingan data asli dan data interpolasi: Data curah hujan asli dari titik observasi validasi dibandingkan dengan data interpolasi yang dihasilkan dengan

metode *Thiessen*. Perbandingan ini dapat dilakukan dengan beberapa indikator statistik, antara lain:

- 1) *Mean Absolute Error* (MAE): Mengukur perbedaan absolut rata-rata antara nilai curah hujan yang diamati dan diinterpolasi. Nilai MAE yang kecil menunjukkan akurasi yang baik hasil interpolasi.
  - 2) *Root Mean Square Error* (RMSE): Mengukur perbedaan akar rata-rata kuadrat antara nilai yang diamati dan diprediksi. RMSE yang rendah menunjukkan kesesuaian yang baik antara data asli dan hasil interpolasi.
  - 3) *Koefisien determinasi* ( $R^2$ ): Mengukur sejauh mana variasi nilai curah hujan yang diamati dapat dijelaskan dengan model interpolasi.  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara data asli dengan hasil interpolasi.
- c) Pengujian Signifikansi. Untuk memastikan bahwa perbedaan antara data asli dan data interpolasi bukanlah suatu kebetulan, dilakukan uji statistik seperti uji t atau uji F, tergantung pada jenis data dan sebarannya. Tes ini akan memberi tahu Anda jika terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara dua data.

Analisis spasial. Selain perbandingan numerik, analisis spasial dapat dilakukan untuk memeriksa apakah pola distribusi curah hujan yang diinterpolasi mengikuti pola yang sama. mirip dengan data asli di area yang diautentikasi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa interpolasi tidak hanya akurat secara numerik, namun juga akurat secara spasial.

#### 2.1.6 Periode Ulang (*Return Period*)

Periode ulang merupakan suatu konsep yang sering digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, seperti statistika, geofisika, hidrologi, dan teknik sipil, untuk menggambarkan frekuensi terjadinya suatu peristiwa tertentu. Istilah ini mengacu pada interval waktu rata-rata antara dua peristiwa dengan karakteristik serupa. Dalam praktiknya, periode ulang sering digunakan untuk memprediksi bahaya dan merencanakan mitigasi kejadian ekstrem, seperti banjir, gempa bumi, atau angin kencang. Periode ulang didefinisikan sebagai waktu rata-rata yang diperlukan agar suatu peristiwa dengan intensitas atau besaran tertentu dapat terulang kembali. Perhitungan *payback period* biasanya didasarkan pada data historis atau observasi

jangka panjang. Periode ulang digunakan di berbagai bidang, termasuk hidrologi, geofisika, dan manajemen risiko, dengan tujuan utama perencanaan dan mitigasi risiko kejadian ekstrem, sebagai berikut.

- Hidrologi

Dalam hidrologi, periode ulang digunakan untuk menganalisis data curah hujan, aliran sungai, atau banjir. Misalnya, desain bendungan atau jembatan sering kali memperhitungkan periode ulang tertentu (misalnya 50 tahun atau 100 tahun) untuk menjamin keamanan struktur terhadap risiko banjir yang ekstrem.

- Geofisika

Dalam studi gempa bumi, periode ulang membantu menentukan seberapa sering gempa bumi besar mungkin terjadi di suatu wilayah. Ini penting untuk mendukung perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi bencana.

- Manajemen risiko

Dalam manajemen risiko, periode pengembalian modal digunakan untuk menilai risiko keuangan yang timbul dari bencana alam atau kejadian langka lainnya. Misalnya, perusahaan asuransi menggunakan payback period untuk menentukan premi asuransi terkait risiko banjir atau gempa bumi.

Periode ulang dengan jangka waktu tertentu memiliki ketentuan penggunaan yang bergantung pada konteks analisis:

- i) Periode Ulang 2 tahun

- Cocok untuk kejadian dengan intensitas rendah hingga sedang yang lebih sering terjadi.
- Biasanya digunakan dalam perencanaan infrastruktur kecil seperti saluran drainase atau jalur yang tidak memerlukan toleransi terhadap kejadian ekstrem.
- Dapat digunakan untuk penilaian risiko awal dalam skenario non-kritis.

- j) Periode Ulang 5 tahun

- Digunakan untuk kejadian dengan frekuensi sedang dan dampak besar.
- Relevan dengan desain infrastruktur berisiko menengah, seperti pipa air perkotaan atau tempat parkir terbuka.

- Berguna untuk pengelolaan sumber daya air di wilayah yang relatif stabil dan tidak terlalu rentan terhadap kejadian ekstrim.

k) Periode Ulang 10 tahun

- Digunakan untuk kejadian yang jarang terjadi namun memang terjadi dampak besar.
- Biasanya diterapkan pada infrastruktur publik yang lebih besar, seperti jalan utama, jembatan kecil atau tanggul sungai.
- Cocok untuk perencanaan mitigasi bencana dengan tingkat risiko lebih tinggi, namun tetap murah.

l) Periode Ulang 25 tahun

- Cocok untuk perencanaan infrastruktur yang harus mampu menahan kejadian ekstrim dengan dampak sedang.
- Digunakan dalam proyek seperti tanggul besar, jaringan pipa selokan atau jalan raya antar kota.
- Membantu dalam analisis risiko di daerah perkotaan yang padat penduduknya.

m) Periode Ulang 50 tahun

- Digunakan untuk infrastruktur penting seperti bendungan kecil, instalasi listrik atau bangunan vital.
- Cocok untuk analisis risiko dalam perencanaan tata ruang jangka panjang.
- Dapat digunakan untuk mitigasi kejadian ekstrim yang berdampak signifikan terhadap masyarakat.

n) Periode Ulang 100 tahun

- Penting untuk kejadian yang sangat jarang terjadi namun berdampak besar seperti banjir besar atau gempa bumi besar.
- Biasanya diterapkan pada infrastruktur yang sangat penting, seperti bendungan besar, bandara, atau jembatan besar.
- Digunakan dalam perencanaan kebijakan mitigasi bencana jangka panjang untuk meminimalkan kerugian ekonomi dan sosial.

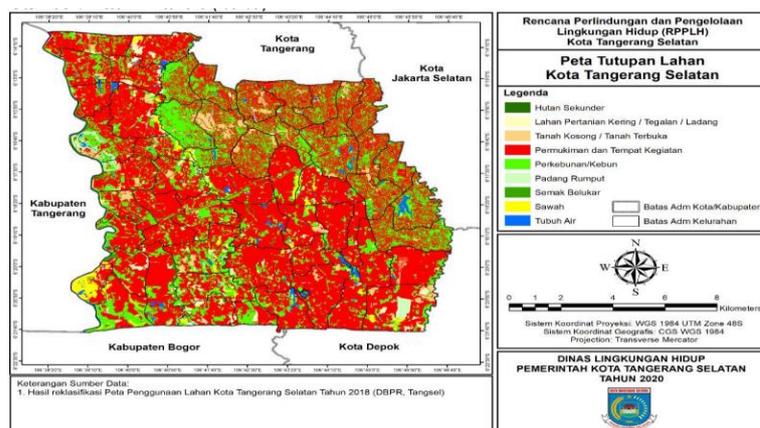
Periode ulang adalah alat penting untuk memahami dan mengelola risiko yang terkait dengan kejadian ekstrem. Dengan menghitung periode pengembalian modal, para profesional dapat merancang strategi mitigasi dan infrastruktur yang lebih aman dan tahan terhadap ancaman di masa depan. Bagaimanapun metode ini, penting untuk mempertimbangkan keterbatasan metode ini dan melengkapi analisis dengan pendekatan lain jika diperlukan.

### **2.1.7 Tutupan Lahan**

Tutupan lahan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi permukaan tanah, baik itu berupa vegetasi, air, bangunan, maupun permukaan yang tidak terkelola. Tutupan ini mencakup berbagai kategori, seperti hutan, padang rumput, lahan pertanian, dan daerah perkotaan. Pengelompokan ini memainkan peranan kunci dalam studi lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam (Sugianto, Deli, Miswar, Rusdi, & Irham, 2022).

Analisis tutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik penginderaan jauh, yang memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan luas mengenai karakteristik lahan. Metode ini sangat berguna dalam pemantauan perubahan tutupan lahan akibat konversi lahan, urbanisasi, dan dampak lingkungan lainnya. Perubahan tutupan lahan dapat memiliki dampak signifikan pada ekosistem, kualitas tanah, dan ketersediaan air.

Data tutupan lahan digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pemodelan iklim, perkiraan dampak lingkungan, dan perencanaan tata ruang. Dengan informasi yang tepat tentang tutupan lahan, para peneliti dan pembuat kebijakan dapat merumuskan strategi yang lebih baik untuk melindungi sumber daya alam dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan. Berikut merupakan peta tutupan lahan kota Tangerang selatan sebagai objek penelitian yang akan dilakukan.



**Gambar 2. 3** Tutupan Lahan Kota Tangerang Selatan  
 Sumber : Lembaran Daerah Kota Tangerang Selatan, 2023

Drainase dan tutupan lahan memiliki hubungan yang signifikan dan saling mempengaruhi dalam konteks pengelolaan sumber daya air dan pengurangan risiko banjir. Perubahan dalam tutupan lahan, seperti konversi lahan hijau menjadi permukaan impervious, dapat mempengaruhi sistem drainase dan menyebabkan peningkatan aliran permukaan (Schumacher, Lange, Müller, & Schernewski, 2021).

Dalam konteks pengelolaan risiko banjir, penting untuk mempertimbangkan interaksi antara tutupan lahan dan drainase. Strategi yang menggabungkan restorasi vegetasi dan perbaikan sistem drainase dapat lebih efektif dalam mengurangi risiko banjir dan mengelola sumber daya air (Apsite, et al., 2017).

### 2.1.8 *Runoff*

Runoff, atau aliran permukaan, adalah pergerakan air di atas permukaan tanah yang terjadi ketika intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Air yang tidak terserap akan mengalir menuju sungai, danau, atau saluran drainase. Proses ini merupakan bagian integral dari siklus hidrologi, yang mencakup tahapan seperti evaporasi, kondensasi, presipitasi, dan akhirnya runoff.

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi besarnya runoff meliputi:

- **Intensitas dan Durasi Hujan:** Hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat cenderung menghasilkan runoff lebih besar dibandingkan hujan dengan intensitas rendah yang berlangsung lama.
- **Kondisi Permukaan Tanah:** Permukaan yang kedap air, seperti beton dan aspal, mengurangi infiltrasi dan meningkatkan runoff. Sebaliknya, area dengan

vegetasi tinggi memiliki kapasitas infiltrasi lebih besar, sehingga mengurangi runoff.

- Kemiringan Lahan: Lahan dengan kemiringan curam memfasilitasi aliran air lebih cepat, mengurangi waktu infiltrasi, dan meningkatkan volume runoff.

Di area perkotaan, peningkatan permukaan impermeabel akibat pembangunan infrastruktur menyebabkan peningkatan volume dan kecepatan runoff.

Dampak negatif yang ditimbulkan meliputi:

- Banjir: Volume runoff yang tinggi dapat melebihi kapasitas sistem drainase kota, mengakibatkan banjir dan genangan air.
- Erosi Tanah: Aliran air permukaan yang kuat dapat menyebabkan erosi tanah, merusak infrastruktur, dan mengurangi kualitas lingkungan.
- Pencemaran Air: Runoff dapat membawa polutan seperti minyak, logam berat, dan limbah lainnya ke badan air, mengancam ekosistem dan kesehatan manusia.

#### **2.1.9 Infiltrasi**

Infiltrasi merupakan proses di mana air hujan atau air permukaan masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Proses ini penting karena membantu mengisi cadangan air tanah dan mendukung berbagai ekosistem. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor fisika dan biologi tanah, antara lain tekstur, struktur, porositas, stabilitas agregat tanah, dan kelembaban tanah awal. Sifat-sifat ini berkontribusi secara signifikan terhadap kemampuan tanah dalam menyerap air.

Pesatnya pembangunan menyebabkan peningkatan tutupan lahan sehingga resapan air hujan (infiltrasi) ke dalam tanah akan berkurang. Hal ini berdampak langsung pada pengurangan ketersediaan air tanah, yang penting untuk mendukung ekosistem dan pemenuhan kebutuhan masyarakat. Tutupan lahan dapat mempengaruhi sifat fisik tanah yang berhubungan dengan laju, kapasitas, dan volume infiltrasi pada suatu lahan (kadir, et al., 2022). Ketika tutupan lahan mengalami perubahan, seperti dari lahan terbuka menjadi kawasan terbangun, laju infiltrasi sering kali berkurang, yang mengakibatkan meningkatnya limpasan aliran permukaan.

Penelitian menunjukkan bahwa dalam kawasan hutan, laju infiltrasi cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan yang terbangun. Studi-studi lainnya juga menunjukkan bahwa tutupan vegetasi yang baik dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air hujan, menjaga keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan sumber daya air di wilayah tersebut. Laju infiltrasi yang rendah dapat meningkatkan limpasan air, yang berpotensi menyebabkan banjir. Oleh karena itu, memiliki laju infiltrasi yang baik dapat membantu mengurangi kebutuhan untuk sistem drainase yang besar dan mahal.

#### 2.1.10 Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah rasio antara volumen limpasan yang dihasilkan oleh curah hujan dibandingkan dengan total curah hujan yang jatuh di lahan. Koefisien ini memberikan informasi tentang seberapa banyak air yang akan mengalir ke sistem drainase dan berapa banyak yang dapat diserap atau diendapkan oleh media permeabel, seperti pavemen hijau.

Koefisien pengaliran, yang dilambangkan dengan  $C$  adalah parameter yang menunjukkan proporsi air hujan yang mengalir sebagai limpasan permukaan dibandingkan dengan total curah hujan yang jatuh ke suatu area. Nilai  $C$  berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak air yang menjadi limpasan.

Koefisien pengaliran adalah indikator penting dalam pengelolaan sumber daya air yang menunjukkan proporsi air hujan yang menjadi limpasan. Berikut ini adalah tabel yang merangkum nilai koefisien pengaliran berdasarkan jenis penggunaan lahan, beserta referensi dari penelitian. Tabel ini bertujuan untuk memberikan informasi yang berguna bagi pengelola infrastruktur dan perencana tata ruang.

Tabel 2. 2 Koefisien Pengaliran

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran ( $C$ )
1. Jalan Beton dan Jalan Aspal	0,70–0,95
2. Jalan Kerikil dan Jalan tanah	0,40–0,70

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
3. Bahu Jalan:	
- Tanah Berbutir Halus	0,40–0,65
- Tanah Berbutir Kasar	0,10–0,20
- Batuan Masif Keras	0,70–0,85
- Batuan Masif Lunak	0,60–0,75
4. Daerah Perkotaan	0,70–0,95
5. Daerah Pinggir Kota	0,60–0,70
6. Daerah Industri	0,60–0,90
7. Permukiman Padat	0,40–0,60
8. Permukiman Tidak Padat	0,20–0,40
9. Taman dan Kebun	0,45–0,60
10. Persawahan	0,70–0,80
11. Perbukitan	0,75–0,90

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang berkelanjutan, Dr. Ir. Suripin, M. Eng

Infiltrasi yang tinggi dalam suatu sistem akan menyebabkan koefisien pengaliran menjadi lebih rendah. Ketika tanah dapat menyerap air hujan dengan baik, lebih sedikit air yang mengalir sebagai limpasan. Sebaliknya, jika infiltrasi rendah (misalnya, pada tanah yang terkompaksi atau kering), lebih banyak air yang akan mengalir sebagai limpasan, sehingga menaikkan nilai koefisien pengaliran. Menghitung koefisien pengaliran secara akurat sangat penting untuk perencanaan pengelolaan air, terutama dalam mengantisipasi potensi banjir dan merencanakan sistem drainase yang efisien.

### 2.1.11 *Green Infrastructure* (GI)

*Green Infrastructure* (GI) adalah konsep yang berakar pada ekologi dan mencakup berbagai disiplin ilmu, termasuk arsitektur lanskap, ilmu lingkungan, perencanaan, kebijakan, dan rekayasa. *Green infrastructure* (GI) merupakan jaringan terhubung dari ruang hijau yang mengedepankan nilai dan fungsi ekosistem alami, serta memberikan manfaat terkait lingkungan dan sosial (Campbell, Chanse, & Schindler, 2024).

Penerapan *green infrastructure* (GI) di perkotaan dapat memberikan banyak keuntungan, seperti peningkatan kualitas udara, pengurangan banjir, dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Dengan mempertahankan keseimbangan ekosistem, sistem infrastruktur hijau tidak hanya dirancang untuk menghentikan kerusakan lingkungan tetapi juga untuk secara aktif memperbaiki dan melestarikannya (Yenil, Yemis, Dursun, & Gulgun, 2017).



**Gambar 2. 4** Skema Green Infrastructure

Sumber : <https://blog.carbonaddons.id/meningkatkan-kualitas-lingkungan-melalui-green-infrastruktur-dan-pengurangan-emisi-1720781247>

Berbagai kota di seluruh dunia mulai mengadopsi *green infrastructure* untuk meningkatkan ketahanan terhadap tantangan lingkungan seperti perubahan iklim dan degradasi ekosistem. Contohnya, London dan New York City telah menerapkan inisiatif Infrastruktur Hijau dalam perencanaan penggunaan lahan untuk mencapai tujuan keberlanjutan yang lebih tinggi (Campbell, Chanse, & Schindler, 2024). *Green Infrastructure* (GI) menunjuk pada praktik desain dan perencanaan lahan yang bertujuan untuk mengelola aliran air hujan dengan cara yang berkelanjutan, sekaligus memitigasi dampak lingkungan dari pembangunan urban (Zhang & Ariaratnam, 2021).

#### 2.1.12 *Green Pavement*

*Green pavement* adalah teknologi yang dirancang untuk meningkatkan pengelolaan air hujan di daerah perkotaan dengan menggunakan material yang permeabel. Tujuan utama dari *green pavement* adalah untuk mengurangi limpasan air, memperbaiki kualitas air, dan mendukung keberlanjutan lingkungan urban (Batani, Lai, Bustami, Mannan, & Mah, 2021).

Salah satu manfaat utama dari *green pavement* adalah kemampuannya untuk mengurangi jumlah limpasan air yang terjadi akibat hujan. Dengan struktur yang berpori, *green pavement* memfasilitasi penyerapan air ke tanah, yang membantu dalam pengisian kembali air tanah dan mengurangi risiko banjir di daerah perkotaan (Alex, Jose, Saberian, & Li, 2022). Selain itu, penggunaan *green pavement* dapat meningkatkan kualitas air yang mengalir ke sistem saluran air dengan menyaring kontaminan dan sedimen (Bateni, et al., 2022).

*Green pavement* sering menggunakan material seperti beton porus atau metode yang disebut *StormPav*, yang mencakup penyimpanan mikro di bawah permukaan untuk detensi air (Putri, et al., 2020). Berbagai inovasi dalam desain dan implementasi *green pavement* memberikan solusi berkelanjutan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari suatu wilayah. Dalam beberapa kasus, juga digunakan campuran khusus yang mengandung bahan tambah ramah lingkungan untuk meningkatkan performa *hydrologis* dari *pavemen* ini (Boogaard, Rooze, & Stuurman, 2022).

Pada umumnya, *green pavement* dapat diterapkan di area-area seperti trotoar, tempat parkir, dan jalur *pedestrian*. Penerapan teknologi ini sejalan dengan tujuan penciptaan ruang terbuka hijau di lingkungan perkotaan yang semakin padat (Putri, et al., 2020). Sebagai contoh, dalam situasi di mana lahan terbatas, penggunaan *green pavement* membantu memelihara beberapa fungsi ekosistem sekaligus memenuhi kebutuhan infrastruktur (Bateni, Lai, Bustami, Mannan, & Mah, 2021).

Salah satu metode dalam pengembangan *green infrastructure* (GI) adalah penggunaan *green pavement*, yang merujuk pada jenis material dan teknik konstruksi jalan yang dirancang untuk meningkatkan permeabilitas tanah, mengurangi limpasan air, dan meminimalkan dampak lingkungan. *Green pavement* memiliki peran penting dalam implementasi *green infrastructure* (GI), khususnya dalam pengelolaan air hujan.



**Gambar 2. 5** Green Pavement

Sumber: <https://www.urbangreenup.eu/solutions/green-pavements--green-parking-pavements.kl>

Dengan mengurangi permukaan *impervious* yang menyebabkan limpasan yang berlebihan, *green pavement* membantu menstabilkan ekosistem lokal dan memelihara kualitas air. Penggunaan bahan *pavement* yang ramah lingkungan dan permeabel juga berkontribusi pada pengurangan efek pulau panas perkotaan, dengan memungkinkan proses penyerapan air yang lebih baik dan pengurangan suhu permukaan (Mun-soo, Woo-bin, Yong-gil, & Sang-rae, 2021).



## 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
1	Erin A. Dreelin (2006)	Athena, Georgia	Penelitian ini menyelidiki efektivitas perkerasan berpori dalam mengelola limpasan air hujan di tanah lempung, membandingkan tempat parkir perkerasan berpori dengan tempat parkir aspal tradisional di Athena, Georgia. Studi ini menyimpulkan bahwa trotoar berpori merupakan pilihan yang layak untuk mengurangi limpasan air hujan dan polutan, bahkan pada tanah yang kaya akan tanah liat, terutama selama badai kecil atau saat hujan lebat.	Penelitian ini melibatkan pemantauan simultan terhadap tempat parkir berpori Grassy Paver TM dan tempat parkir aspal di Athena, Georgia, Amerika Serikat, yang dibangun pada musim dingin 2002-2003. Analisis statistik mencakup uji-t berpasangan dan regresi linier sederhana untuk mengevaluasi perbedaan limpasan dan beban polutan.	data dari sembilan kejadian badai kecil yang dipantau antara bulan Maret dan Juni 2003, dengan kedalaman curah hujan berkisar antara 0,03 hingga 1,85 cm, yang merupakan mayoritas kejadian badai di Athena, Georgia.	Penelitian ini menemukan bahwa <b>perkerasan berpori secara signifikan mengurangi limpasan air hujan</b> , menghasilkan limpasan 93% lebih sedikit dibandingkan dengan aspal tradisional selama hujan kecil. Total volume limpasan pada lahan berpori secara signifikan lebih rendah, dengan tidak ada limpasan yang dihasilkan selama dua kejadian hujan yang dipantau.	<a href="#">A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events.pdf</a>
2	Derek B. Booth (2013)	Chicago, Amerika	Studi ini membandingkan kinerja limpasan berbagai sistem perkerasan permeabel terhadap aspal tradisional, yang menunjukkan pelemahan limpasan yang signifikan. Penelitian ini menyoroti pentingnya mempertahankan fungsi penahan air tanah di lanskap perkotaan untuk	Studi ini menggunakan evaluasi lapangan untuk menilai kinerja sistem perkerasan permeabel dalam mengelola limpasan air hujan. Penelitian ini melibatkan pemasangan berbagai jenis perkerasan permeabel, termasuk Turfstone,	instrumentasi lapangan dan pengumpulan data	Studi ini menguji tiga hipotesis utama mengenai <b>perkerasan permeabel</b> , dan menemukan bahwa mengganti aspal dengan perkerasan permeabel secara signifikan mengurangi limpasan permukaan dan mengurangi debit puncak. Hasil kualitas air awal	<a href="#">Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management</a>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
			mengurangi masalah limpasan.	Grasspave2, Gravelpave2, dan UNI Eco-Stone, untuk membandingkan respons hidrologisnya.		menunjukkan bahwa konsentrasi limpasan bawah permukaan lebih rendah daripada limpasan perkotaan pada umumnya, yang menunjukkan potensi manfaat perkerasan permeabel untuk pengelolaan air hujan.	
3	Shadi Saadeh (2019)	California, Amerika	penelitian ini menyajikan metode desain baru untuk perkerasan yang sepenuhnya permeabel yang dikembangkan dengan menggunakan pendekatan mekanistik-empiris oleh Pusat Penelitian Perkerasan Universitas California (University of California Pavement Research Center/UCPRC) di Universitas Negeri California, Long Beach. Perkerasan yang sepenuhnya permeabel memungkinkan terjadinya infiltrasi air, yang berfungsi sebagai reservoir untuk mengurangi limpasan air hujan.	Penelitian ini menggunakan data mentah yang dikumpulkan dari sel tekanan dan pengukur regangan untuk mengukur tekanan vertikal (tegangan) di bagian atas tanah dasar dan regangan di bagian bawah lapisan permukaan untuk bagian aspal dan beton. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk menghasilkan kinerja seksi uji.	sel tekanan dan pengukur regangan untuk mengumpulkan data kelayakan penerapan desain perkerasan	Penelitian ini menyajikan metode desain baru untuk perkerasan yang sepenuhnya permeabel, yang menunjukkan bahwa bagian uji aspal dan beton secara efektif meresapkan air hujan	<a href="#">Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff</a>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
4	Mo Wang (2019)	Guangzhou, China	<p>Penelitian ini menyelidiki efektivitas perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) untuk pengelolaan air hujan di bawah berbagai skenario perubahan iklim, secara khusus berfokus pada jalur konsentrasi representatif (RCP).</p>	<p>Studi ini menggunakan simulasi skenario iklim untuk menilai dampak terhadap limpasan permukaan di daerah tangkapan air perkotaan, dengan fokus pada perubahan karakteristik dan distribusi badai. Simulasi pemodelan hidro digunakan untuk mengevaluasi manfaat hidro-lingkungan dari perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) di bawah skenario iklim yang berbeda.</p>	<p>Jalur Konsentrasi Representatif (RCP) Pola Curah Hujan</p>	<p>Studi ini menemukan bahwa perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) secara signifikan mengurangi volume limpasan dan debit puncak selama periode ulang pendek, tetapi efektivitasnya berkurang untuk periode ulang yang lebih lama. Kinerja PP secara umum lebih unggul dibandingkan dengan BC, terutama dalam mengurangi volume aliran keluar.</p>	<p><a href="#">Assessing performance of porous pavements and bioretention cells for stormwater management in response to probable climatic changes</a></p>
5	Craig Lashford 2020	United Kingdom	<p>Penelitian mengoptimalkan drainase perkotaan dengan kontrol waktu nyata dan teknologi hijau. model pengurangan polutan dan optimalisasi volume luapan dalam sistem saluran pembuangan. Teknologi ini mengurangi polutan hingga 45% dan padatan tersuspensi hingga 53%.</p>	<p>Pemodelan hidraulik dengan EPA SWMM untuk mengoptimalkan sistem drainase perkotaan. Pengontrol PID untuk menyesuaikan bukaan lubang berpagar untuk mempertahankan laju aliran.</p>	<p>Pendekatan dengan metode SuDS, dalam meminimalkan limpasan puncak, dengan menggunakan alat pemodelan drainase standar industri di Inggris, MicroDrainage.</p>	<p>EOPS secara efisien mengurangi volume dan TSS tetapi tidak memiliki manfaat sekunder; <b>sistem pemulihan air hujan</b> adalah yang paling efisien dalam pengurangan volume dan massa. Sistem RTC menjanjikan dalam mengurangi massa yang tumpah secara signifikan.</p>	<p><a href="#">Modelling the Role of SuDS Management Trains in Minimising Flood Risk, Using MicroDrainage.pdf</a></p>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
6	Norazlina Bateni 2021	Sarawak, Malaysia	Makalah ini mengulas teknologi green pavement untuk pengelolaan air hujan di perkotaan. Fokus pada manfaat permeabel pavement, desain hidrologi, dan inovasi StormPav. Pengembangan StormPav untuk pengelolaan air hujan yang berkelanjutan dan infrastruktur hijau.	Tinjauan teknologi green pavement untuk pengelolaan air hujan. Pengenalan StormPav dengan desain hidrologi yang inovatif. Penilaian struktural dan hidrologi dengan StormPav.	- Limpasan Air hujan terhadap stormpav. - tingkat infiltrasi pada stormpav.	<b>StormPav</b> menawarkan <b>pengelolaan air hujan yang berkelanjutan</b> dengan sistem kolam detensi mikro. StormPav memberikan biaya yang efektif, pemasangan yang mudah, dan mengurangi biaya dampak air hujan.	<a href="#">A review on green pavement hydrological design and recommended permeable pavement with detention storage</a>
7	SFI Al-humairi 2021	Malaysia	Tinjauan tentang penggunaan pavement untuk mengurangi efek Urban Heat Island. Pavement yang sejuk mengurangi suhu permukaan, sehingga bermanfaat bagi lingkungan dan kesehatan manusia.	Perkerasan permeabel yang meningkatkan penguapan yang dikembangkan untuk mitigasi UHI. Pavement yang sejuk dengan bahan berwarna terang untuk mengurangi suhu permukaan udara.	- Peninjauan fitur, faktor dan dampak dari berbagai jenis perkerasan jalan, - serta menentukan kesesuaian dari berbagai jenis perkerasan jalan Terhadap Urban Heat Island.	<b>Pavement yang sejuk mengurangi suhu permukaan udara</b> , mengurangi efek pulau panas perkotaan. Pavement reflektif menurunkan suhu permukaan, meningkatkan kenyamanan termal. Pavement penguapan tetap lebih dingin daripada konvensional pavement dalam kondisi panas. Batang baja pada perkerasan mempercepat aliran panas, sehingga meningkatkan layanan jangka panjang.	<a href="#">Sustainable pavement: A review on the usage of pavement as a mitigation strategy for UHI</a>
8	Yuxin Zhu (2021)	Shanghai, China	Penelitian ini menyajikan kerangka kerja fuzzy analytic	Studi ini mengembangkan	data curah hujan	Kinerja perkerasan permeabel sensitif terhadap	<a href="#">Permeable pavement design</a>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
			<p>hierarchy process (FAHP) untuk merancang perkerasan permeabel guna mengatasi masalah pengelolaan air hujan di perkotaan, dengan mempertimbangkan kriteria hidrologis, hidraulik, kualitas air, dan ekonomi.</p>	<p>kerangka kerja fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) untuk memprioritaskan skenario perkerasan permeabel, dengan memasukkan kriteria hidrologi, hidraulik, kualitas air, dan ekonomi. Pendapat para ahli dan hasil simulasi model pengelolaan air hujan (SWMM) digunakan untuk membuat matriks perbandingan fuzzy. Metode kuadrat terkecil logaritmik yang dimodifikasi (LLSM) digunakan untuk memperoleh bobot lokal dan global dari matriks perbandingan fuzzy.</p>	<p>sub-daerah tangkapan air biasa sub-daerah tangkapan air khusus jalan Kualitas Air</p>	<p><b>curah hujan</b>, dengan struktur yang lebih tebal atau area yang lebih luas memberikan hasil yang lebih baik dalam <b>pengurangan limpasan dan pengendalian polutan</b>. Penggunaan perkerasan permeabel dapat <b>meringankan beban sistem drainase</b>, namun tidak dapat mengurangi banjir secara dramatis di wilayah dengan kapasitas drainase yang terbatas.</p>	<p><a href="#">framework for urban stormwater management considering multiple criteria and uncertainty</a></p>
9	Angélica Oliveira de Souza 2022	São Paulo, Brazil	<p>Taman kota di Sao Paulo meningkatkan drainase dan pengelolaan air, ruang hijau mengurangi dampak perubahan iklim, mempromosikan infrastruktur</p>	<p>Pemetaan taman kota, mengukur area yang dapat ditembus, dan menganalisis penggunaan air. Penangkapan air hujan, pelestarian mata air,</p>	<p>tingkat impermeabilitas dan tingkat permeabilitas area</p>	<p>Taman kota mendorong <b>drainase yang berkelanjutan</b> dan kesadaran lingkungan. Taman-taman ini mendorong konsumsi makanan organik dan</p>	<p><a href="#">Urban gardens contribution of small green spaces to sustainable drainage</a></p>

No.	Peneliti	Lokasi	Ringkasan	Metodologi	Parameter	Hasil Penelitian	Link Literatur
			perkotaan yang berkelanjutan.	dan tingkat permeabilitas tanah yang tinggi diamati Taman kota mendorong drainase berkelanjutan, keanekaragaman hayati, dan mitigasi perubahan iklim.		keterlibatan masyarakat. Taman kota <b>mengurangi dampak air hujan</b> dan meningkatkan permeabilitas tanah.	
10	Suprapti 2023	Jagakarsa, Indonesia	Jagakarsa menghadapi banjir akibat urbanisasi, penipisan air tanah, dan penurunan permukaan tanah. Potensi pemanenan air hujan dinilai melalui survei lapangan dan analisis sosial ekonomi.	Analisis data curah hujan untuk penilaian potensi RWH. Survei lapangan untuk mengeksplorasi kondisi alam dan lingkungan. Sosialisasi penelitian dengan para pemimpin lokal dan anggota masyarakat. Penyebaran kuesioner penelitian dan wawancara langsung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- data curah hujan</li> <li>- survei lapangan</li> <li>- sosialisasi program penelitian, dan</li> <li>- analisis sosial</li> <li>- ekonomi masyarakat.</li> </ul>	<b>Pemanenan air hujan</b> adalah solusi yang layak di Kecamatan Jagakarsa. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk implementasi pemanenan air hujan yang terintegrasi.	<a href="#">Assessment of rainwater harvesting potential based on field observations in Jagakarsa District area, South Jakarta</a>

Sumber: Dokumen Peneliti, 2024

Berdasarkan gap penelitian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini akan membahas terkait dengan **runoff** yang terjadi akibat air hujan serta pemanfaatan **green pavement** sebagai salah satu upaya perbaikan **drainase** yang disebabkan oleh banjir genangan terhadap **kapasitas** dan **kemampuan** daripada **green pavement** tersebut. Hal ini menjadi bagian penting dalam penelitian ini dikarenakan belum adanya penelitian mengenai bentuk modul yang dapat membantu mengalirkan air serta desain yang dapat mempermudah proses *maintance*.