

STUDI PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN AKIBAT PEMBANGUNAN KAWASAN PERUMAHAN TERHADAP LIMPASAN PERMUKAAN DI KOTA PANGKALPINANG

Rizki Oktian¹, Roby Hambali¹, dan Boy Dian Anugra Sandy¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Perencanaan, dan Perancangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung

*robyhambali@ubb.ac.id

Pemasukan: 22 Desember 2025

Perbaikan: 30 Desember 2025

Diterima: 30 Desember 2025

Intisari

Pertumbuhan kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang dalam dua dekade terakhir telah mendorong perubahan signifikan pada tutupan lahan dan dinamika hidrologi perkotaan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan permukaan dengan pendekatan spasial dan hidrologi. Analisis dilakukan menggunakan citra satelit tahun 2004 dan 2023 serta metode rasional untuk menghitung debit limpasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai koefisien limpasan (C) rata-rata dari 0,182 menjadi 0,690 atau meningkat sebesar 285,346%, seiring dengan konversi lahan bervegetasi menjadi kawasan terbangun. Peningkatan ini berdampak langsung pada kenaikan debit limpasan permukaan hingga lebih dari tiga kali lipat. Temuan ini menegaskan bahwa pembangunan perumahan yang tidak diimbangi dengan pengendalian tata guna lahan berpotensi meningkatkan risiko banjir perkotaan. Studi ini memberikan kontribusi empiris terhadap pemahaman dampak urbanisasi skala lokal terhadap respons hidrologi, serta menegaskan pentingnya penerapan kebijakan pengendalian tata ruang seperti Koefisien Dasar Hijau (KDH) dan sistem drainase berkelanjutan dalam perencanaan kota.

Kata kunci : Perubahan Tutupan Lahan, Limpasan Permukaan, Pembangunan Perumahan, GIS, Metode Rasional

Latar Belakang

Kota Pangkalpinang, mengalami pertumbuhan penduduk mencapai 230 ribu jiwa dengan laju pertumbuhan 1,36% pada tahun 2020–2024 (BPS Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 2024). Peningkatan jumlah penduduk berdampak pada pesatnya pembangunan perumahan subsidi dan komersial. Hingga tahun 2023, sebanyak 305 kompleks perumahan dan 13.690 unit rumah yang telah dibangun (Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Pangkalpinang, 2024). Konsekuensi dari pembangunan perumahan tersebut diperkirakan berubahnya tutupan lahan bervegetasi menjadi nonvegetasi seluas ratusan hektar.

Perubahan tutupan lahan yang cepat ini berdampak pada peningkatan nilai koefisien limpasan permukaan (Astuti dkk., 2017). Curah hujan ekstrem serta perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi mengakibatkan erosi, abrasi tepian sungai, hilangnya unsur hara, serta peningkatan kontaminasi polutan di area pertanian (Hu *et al.*, 2020; Ward & Trimble, 2013; Mazur, 2018). Permukaan lahan yang telah diperkeras meningkatkan debit dan rasio limpasan serta mengurangi infiltrasi air tanah, sehingga mempengaruhi keseimbangan air dan meningkatkan risiko banjir (Hu *et al.*, 2020; Sugandi & Pascawijaya, 2019). Alih fungsi lahan di Kota Pangkalpinang, mengubah karakteristik limpasan permukaan, di mana daerah resapan seperti tanah bervegetasi tergantikan oleh permukaan keras. Hal ini dapat meningkatkan volume dan kecepatan limpasan permukaan serta memperbesar risiko banjir, erosi, dan pencemaran air.

Studi yang mengeksplorasi pengaruh perubahan tutupan lahan akibat pembangunan kawasan perumahan terhadap limpasan permukaan menjadi sangat penting untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika hidrologi di daerah perkotaan. Oleh karena itu, penelitian mengenai dampak perubahan tutupan lahan akibat pembangunan perumahan terhadap limpasan permukaan menjadi sangat penting. Studi ini bertujuan untuk menghitung jumlah perubahan tutupan lahan bervegetasi menjadi kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang dalam 20 tahun terakhir dan menghitung nilai debit limpasan permukaan yang dihasilkan oleh kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang.

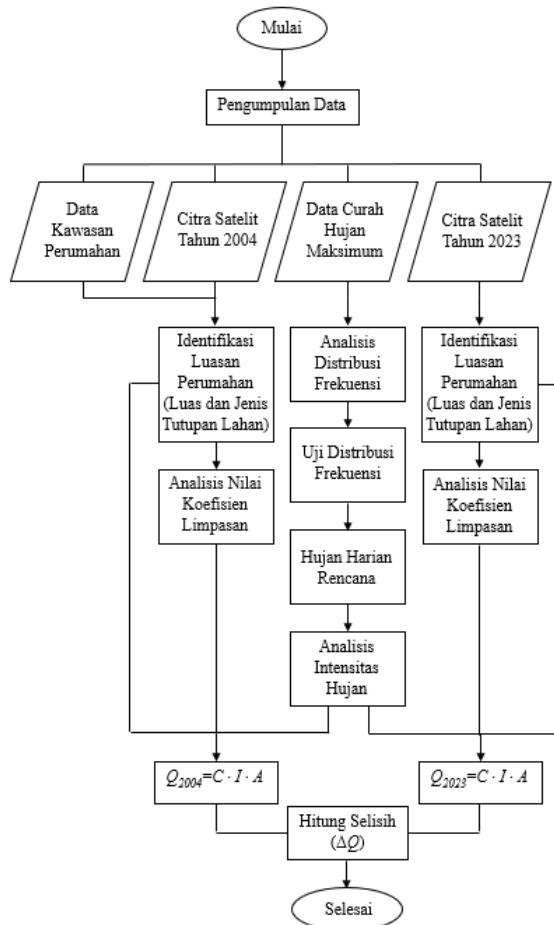
Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap limpasan permukaan, sebagian besar studi tersebut dilakukan pada skala DAS besar atau wilayah metropolitan, dengan sedikit perhatian pada skala kota menengah seperti Pangkalpinang. Selain itu, kajian yang secara spesifik mengaitkan dinamika pembangunan perumahan dengan perubahan parameter hidrologi berbasis data spasial jangka panjang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menganalisis perubahan tutupan lahan dan dampaknya terhadap limpasan permukaan selama periode 20 tahun, sebagai dasar ilmiah bagi perencanaan kota yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Metodologi Studi

Prosedur Penelitian

Untuk mendapatkan analisis dampak perubahan tutupan lahan pada suatu Kawasan, maka tahapan dan prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini tersaji pada Gambar 1.

Tahapan dan prosedur penelitian dibagi menjadi 3 bagian besar yaitu proses pengolahan data citra satelit untuk menghitung perubahan tutupan lahan yang selanjutnya direpresentasikan melalui nilai C (koefisien limpasan), tahapan analisis hujan rancangan hingga mendapatkan intensitas hujan (I) dan tahap interpretasi hasil simulasi dengan membandingkan kondisi debit tahun 2004 dan debit tahun 2023.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Analisis Limpasan Permukaan

Wesli (2008) menyatakan bahwa hujan dan limpasan saling terkait. Hujan dapat diperkirakan menggunakan data sebelumnya, dan ahli hidrologi memakai persamaan empiris untuk memproyeksikannya. Hujan menyebabkan limpasan air ke sungai setelah melalui proses infiltrasi dan genangan. Menurut Azhari dan Aris (2020), limpasan permukaan terjadi akibat curah hujan berlebih yang mengalir di atas atau di bawah permukaan tanah. Faktor yang mempengaruhi limpasan meliputi tata guna lahan, topografi, jenis tanah, dan karakteristik daerah. Limpasan berlebih dapat meningkatkan risiko banjir.

Debit Limpasan Permukaan

Debit limpasan permukaan dihitung menggunakan metode rasional. Metode rasional dipilih karena sesuai untuk analisis limpasan pada daerah tangkapan berskala kecil hingga menengah serta banyak digunakan dalam kajian hidrologi perkotaan. Menurut Asdak (2007), metode rasional merupakan metode sederhana dan akurat untuk memperkirakan volume aliran puncak (Q), terutama pada daerah dengan luas kurang dari 300 ha. Meskipun metode ini memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan dinamika hidrologi kompleks, pendekatan ini dinilai memadai

untuk membandingkan perubahan limpasan antarperiode dengan karakteristik hujan yang relatif seragam. Validasi dilakukan secara tidak langsung melalui konsistensi spasial perubahan tutupan lahan dan kesesuaian nilai limpasan dengan karakteristik fisik wilayah studi. Persamaan matematis untuk menghitung limpasan permukaan dengan metode rasional dituliskan sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

Keterangan:

Q : debit limpasan permukaan (m^3/detik)

C : koefisien aliran total

I : rata-rata intensitas hujan (mm/jam)

A : luas wilayah (m^2)

Koefisien Aliran (C)

Analisis koefisien aliran didapatkan melalui Pengolahan data kawasan perumahan dilakukan menggunakan *software* ArcGIS dengan memanfaatkan data citra satelit yang bersumber dari Google Earth Pro. Pengolahan data ini dimulai dengan melakukan koreksi geometrik terhadap citra satelit, kemudian melakukan *export* data *frame* menjadi raster *dataset*. Tahap selanjutnya, melakukan digitasi citra satelit. Kemudian, melakukan *merge layer* tutupan lahan. Tahap akhir dari pengolahan data ini adalah melakukan perhitungan luas setiap jenis tutupan lahan. Pengolahan data ini bertujuan untuk menghitung persentase perubahan lahan bervegetasi menjadi nonvegetasi yang dinilai berdasarkan nilai C , persentase peningkatan lahan nonvegetasi, mengetahui luas masing-masing tutupan lahan serta luas total wilayah kawasan perumahan.

Hasil prosesing data GIS selanjutnya untuk menghitung koefisien aliran. Koefisien aliran dalam penelitian ini didasarkan pada jenis tutupan lahan, yang memiliki nilai koefisien berbeda (Asdak, 2007; Soewarno, 2000). Setelah menetapkan koefisien untuk tiap tutupan lahan, nilai totalnya dihitung dengan rata-rata tertimbang (Farida, 2006).

$$C_{\text{komposit}} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Keterangan:

C_{komposit} : koefisien aliran total

$C_{1,2,3\dots n}$: nilai koefisien aliran pada masing-masing bagian daerah yang sesuai dengan tutupan lahan

$A_{1,2,3\dots n}$: luas masing-masing bagian daerah (m^2)

Intensitas Hujan

Menurut Soemarto (1999), penetapan debit banjir rencana dalam metode rasional memerlukan perhitungan intensitas curah hujan, yaitu jumlah hujan yang jatuh dalam periode dan konsentrasi tertentu. Analisisnya dapat dilakukan berdasarkan data hujan sebelumnya (Loebis, 1987). Jika hanya tersedia data curah hujan harian, dapat digunakan rumus empiris Mononobe.

$$I = \left[\frac{R_{24}}{24} \right] \left[\frac{24}{t_c} \right]^{2/3} \quad (3)$$

Keterangan:

I : intensitas curah hujan rerata (mm/jam)

R_{24} : curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

t_c : durasi hujan (jam), waktu konsentrasi

untuk lokasi pembangunan ditetapkan selama 2 jam. Penetapan ini didasarkan pada pedoman yang tercantum dalam SNI 8456:2017 mengenai Sumur dan Parit Resapan Air Hujan.

Analisis Hujan Rancangan

Menurut Susilowati dan Sadad (2015), hujan merupakan elemen utama dalam analisis hidrologi dan terbagi menjadi dua kategori, salah satunya hujan rancangan. Hujan rancangan adalah pola curah hujan dengan karakteristik tertentu yang umumnya serupa dengan kejadian hujan sebelumnya dan digunakan untuk memperkirakan pola hujan di masa depan. Azhari dan Aris (2020) menjelaskan bahwa hujan rancangan adalah kemungkinan tinggi curah hujan pada periode tertentu berdasarkan analisis frekuensi. Analisis ini memprediksi probabilitas hujan rencana, yang penting dalam perencanaan hidrologi. Metode yang digunakan meliputi distribusi Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log-Pearson type III.

Dua metode yang tersedia untuk menguji kesesuaian jenis distribusi dengan data yang ada, yaitu uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov (Sri Harto, 1993). Uji Chi-Kuadrat merupakan Proses pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai Chi-Kuadrat terhitung (X^2) dengan nilai Chi-Kuadrat kritis (X^2_{cr}). Jika X^2 lebih kecil dari X^2_{cr} , distribusi diterima, sedangkan jika X^2 lebih besar atau sama dengan X^2_{cr} , distribusi tidak diterima. Uji Smirnov-Kolmogorov merupakan proses pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai Smirnov hitung (ΔP_{maks}) dan Smirnov kritis (ΔP_{cr}). Jika ΔP_{maks} lebih kecil dari ΔP_{cr} , distribusi dapat diterima, sedangkan jika ΔP_{maks} lebih besar dari ΔP_{cr} , distribusi tidak dapat diterima.

Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tata guna lahan, menurut Wahyunto dkk. (2001), merupakan peralihan fungsi lahan yang dapat mengurangi jenis penggunaan lahan tertentu seiring waktu. Misalnya, perubahan lahan hijau menjadi kawasan terbangun dapat meningkatkan erosi, sedimentasi, risiko banjir, tanah longsor, dan kekeringan, serta berdampak negatif pada ekosistem, kualitas lingkungan, siklus hidrologi, dan biodiversitas. Suripin (2004) menambahkan bahwa perubahan hidrologi akibat alih fungsi lahan mengurangi aliran dasar dan meningkatkan limpasan permukaan, sehingga berpotensi memicu banjir dan pendangkalan sungai. Urbanisasi yang pesat semakin memperburuk kondisi ini dengan mengurangi area resapan dan retensi air di perkotaan.

Identifikasi Tutupan Lahan Berbasis Citra Satelit

Pengolahan citra satelit

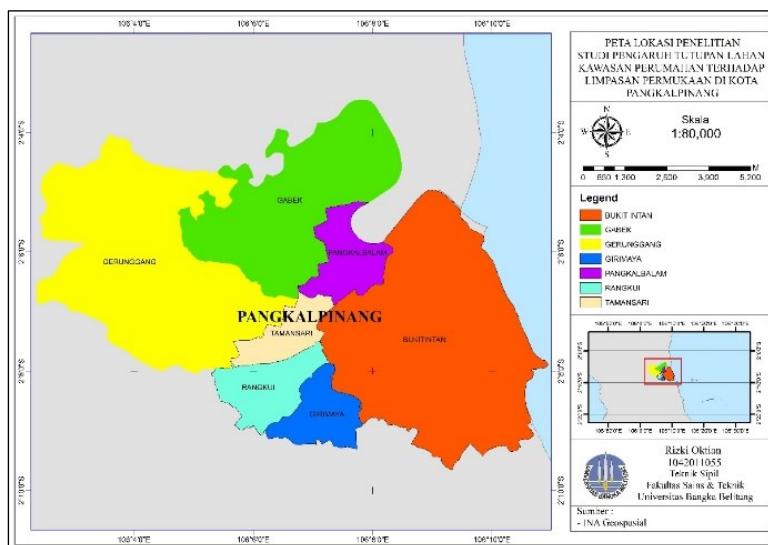
Pengolahan citra satelit dapat dilakukan dengan memanfaatkan berbagai sumber citra satelit, seperti Sentinel-2, Landsat, WorldView, dan Google Earth Pro. Proses ini mencakup koreksi geometrik untuk menyesuaikan koordinat citra agar sesuai

dengan kondisi nyata di lapangan. Selain itu, pengolahan citra juga melibatkan proses digitasi guna mengidentifikasi dan membedakan berbagai jenis tutupan lahan, seperti hutan, semak belukar, taman, area terbangun, serta elemen lainnya. Dengan pendekatan ini, citra satelit dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan perubahan tutupan lahan, perencanaan tata ruang, dan mitigasi bencana.

Google Earth Pro memiliki keunggulan resolusi tinggi, terutama di daerah perkotaan. Selain itu, citra ini juga menyediakan data historis yang lengkap untuk kebutuhan penelitian. Rozanda dkk. (2012) menjelaskan bahwa Google Earth Pro memudahkan perolehan citra berkualitas baik. *Software* ini menampilkan citra satelit permukaan bumi dengan resolusi bervariasi, memungkinkan akses informasi visual seperti rumah, jalan, dan sungai. Menurut Goldblatt *et al.* (2016), citra Google Earth Pro memenuhi standar klasifikasi dan akurasi interpretasi tutupan lahan, sehingga cocok untuk analisis penggunaan lahan. Data yang digunakan mencakup peta Kota Pangkalpinang tahun 2004 dan 2023, yang dapat diakses melalui Google Earth Pro. *Software* Google Earth Pro bisa didapatkan langsung melalui laman (<https://www.google.com/intl/id/earth/about/versions/#earth-pro>).

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kota Pangkalpinang, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Kota Pangkalpinang terdiri dari tujuh Kecamatan yaitu Bukit Intan, Gabek, Gerunggang, Girimaya, Pangkal Balam, Rangkui dan Taman Sari. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian

Penentuan Jumlah Sampel

Penelitian ini menggunakan metode *Cluster Random Sampling* untuk pengambilan sampel dari populasi kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang yang terdiri dari 305 perumahan yang dibangun dalam rentang tahun 2004-2023. Terdapat tiga jenis perumahan yang digunakan, yaitu subsidi, komersial, dan gabungan subsidi dan

komersial. Sampel diambil sebesar 10% dari jumlah populasi berdasarkan (Yount, 1999), menghasilkan 30 sampel yang ditentukan secara proporsional untuk masing-masing jenis perumahan.

Tabel 1. Penentuan Jumlah Sampel

| Jenis Perumahan | Jumlah Perumahan | Sampel |
|-----------------------|------------------|--------|
| Subsidi | 266 | 26 |
| Komersial | 31 | 3 |
| Subsidi dan Komersial | 4 | 1 |
| Jumlah | | 30 |

Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data utama yang digunakan merupakan data sekunder. Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini, beserta sumbernya, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis data sekunder dan sumber data

| Jenis Data Sekunder | Sumber Data |
|--|---|
| Data kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang | Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Pangkalpinang |
| Data curah hujan maksimum dari tahun 2004-2023 | BMKG Kota Pangkalpinang |
| Data citra satelit tahun 2004 dan tahun 2023 | Google Earth Pro |

Penelitian ini juga didukung dengan dilakukannya verifikasi langsung di lapangan. Hal ini dilakukan untuk menentukan koordinat yang digunakan sebagai patokan dalam mendigitasi tutupan lahan pada kawasan perumahan. Verifikasi ini melibatkan wawancara dengan pemilik perumahan terkait atau masyarakat yang tinggal di kawasan perumahan.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Perubahan Lahan Vegetasi Menjadi Nonvegetasi

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana aktivitas pembangunan dan perubahan tutupan lahan mempengaruhi penurunan area vegetasi pada kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang. Sebagai contoh, perhitungan pada salah satu perumahan, yaitu Graha Arta yang dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

$$\%_{\text{perubahan}} = \frac{\text{Nonvegetasi 2023} - \text{Nonvegetasi 2004}}{\text{Vegetasi 2004}} \times 100$$

$$\%_{\text{perubahan}} = \frac{45735,805 - 330,928}{56826,206} \times 100$$

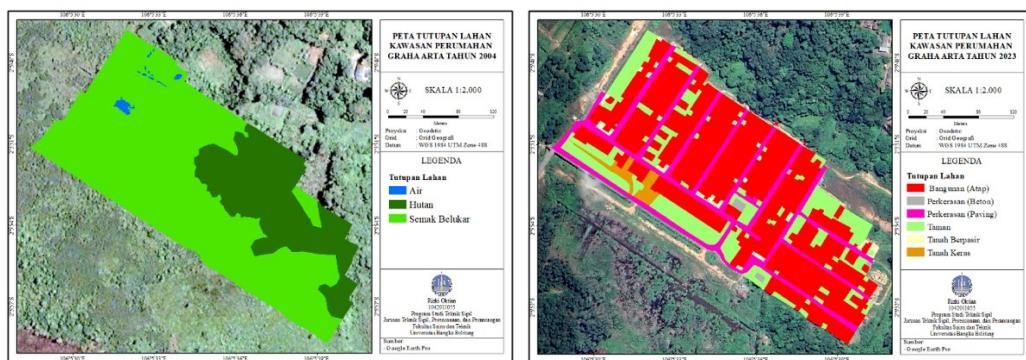
$$\%_{\text{perubahan}} = 79,901\%$$

Berdasarkan hasil dari contoh perhitungan pada perumahan Graha Arta diatas, diperoleh bahwa persentase perubahan lahan vegetasi menjadi nonvegetasi sebesar 79,901%. Hasil akhir dari analisis ini disajikan secara keseluruhan dalam bentuk tabel, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase perubahan lahan vegetasi menjadi nonvegetasi dari tahun 2004-2023

| Perumahan | Luas Perubahan Lahan (m ²) | Perubahan Lahan Vegetasi Menjadi Nonvegetasi (%) | Luas Peningkatan Lahan Nonvegetasi (m ²) | Peningkatan Lahan Nonvegetasi (%) |
|-----------------------------|--|--|--|-----------------------------------|
| Apple Residence I | 19954,407 | 100,000 | 19954,407 | 94,097 |
| Azzahra Residence II | 13013,140 | 86,156 | 13013,140 | 86,156 |
| Babel Residence | 14025,070 | 90,366 | 14025,070 | 86,321 |
| Berkah Mandiri | 16161,489 | 89,295 | 16161,489 | 89,295 |
| Bumi Kampak Permai | 48496,084 | 79,578 | 48496,084 | 74,514 |
| Citraland | 100164,26 | 59,018 | 100164,264 | 59,018 |
| Damai Lestari Residence | 19450,011 | 88,419 | 19450,011 | 79,004 |
| Damai Lestari Residence I | 24702,577 | 94,949 | 24702,577 | 91,236 |
| Damai Lestari Residence VI | 25336,799 | 84,986 | 25336,799 | 84,986 |
| Dealova Bahagia | 38817,971 | 91,587 | 38817,971 | 91,587 |
| Dealova Bahagia Tahap II | 31194,613 | 86,573 | 31194,613 | 85,778 |
| Graha Arta | 45404,877 | 79,901 | 45404,877 | 79,439 |
| Harvest Residence I | 18195,489 | 79,003 | 18195,489 | 78,634 |
| Indo Residence | 23598,773 | 94,054 | 23598,773 | 92,925 |
| Legavista IV | 21105,948 | 88,850 | 21105,948 | 88,850 |
| Matahari Residence | 10513,109 | 93,935 | 10513,109 | 85,698 |
| Mega Harmoni | 5197,576 | 88,165 | 5197,576 | 44,143 |
| Paradise Residence III | 13508,872 | 93,608 | 13508,872 | 69,615 |
| Paradise Residence IV | 11111,200 | 90,865 | 11111,200 | 74,933 |
| Pasir Padi Residence | 12623,293 | 61,298 | 12623,293 | 61,298 |
| Pearl Residence I | 18919,959 | 94,494 | 18919,959 | 94,494 |
| Pelangi Residence | 13743,325 | 93,744 | 13743,325 | 93,744 |
| Pondok Indah II | 14146,726 | 90,778 | 14146,726 | 86,146 |
| Pondok Indah VI | 12851,128 | 86,345 | 12851,128 | 85,853 |
| Puri Arwana | 18957,558 | 91,404 | 18957,558 | 89,774 |
| Taman Jagung Residence Icon | 27432,668 | 87,915 | 27432,668 | 87,915 |
| The Greenland City | 112341,65 | 55,214 | 112341,651 | 50,777 |
| Tjg. Bunga Cluster Anggrek | 74561,085 | 70,558 | 74561,085 | 70,558 |
| Tjg. Bunga Cluster Seruni | 27412,584 | 90,364 | 27412,584 | 82,438 |
| Zikri Residence | 44888,941 | 60,992 | 44888,941 | 60,992 |
| Total | 877831,18 | | 877831,187 | |
| Rata-rata | | 84,747 | | 80,007 |

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa seluruh kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang yang dianalisis mengalami perubahan signifikan, dengan rata-rata mencapai 84,747%. Peningkatan luas lahan nonvegetasi dari tahun 2004 hingga 2023 rata-rata mencapai 80,007%. Analisis ini juga menyajikan hasil dalam bentuk peta, seperti yang ditampilkan pada salah satu perumahan, yaitu Graha Arta, pada Gambar 3(a) untuk tahun 2004 dan Gambar 3(b) untuk tahun 2023.



Gambar 3. Peta tutupan lahan pada kawasan perumahan Graha Arta: (a) tahun 2004, (b) tahun 2023

Analisis Debit Limpasan Permukaan

Analisis hujan rencana

Penentuan curah hujan rencana dilakukan dengan cara mengidentifikasi data curah hujan maksimum tahunan dengan memilih satu nilai tertinggi dari setiap tahun pengamatan. Hasil pengurutan data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Curah hujan maksimum tahunan terurut periode tahun 2004-2023

| Curah Hujan Maksimum (mm) | Probabilitas | Curah Hujan Maksimum (mm) | Probabilitas |
|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| 183,9 | 0,048 | 94,6 | 0,524 |
| 148,6 | 0,095 | 92,0 | 0,571 |
| 141,4 | 0,143 | 89,5 | 0,619 |
| 128,4 | 0,190 | 87,0 | 0,667 |
| 124,7 | 0,238 | 84,4 | 0,714 |
| 121,5 | 0,286 | 80,0 | 0,762 |
| 117,5 | 0,333 | 76,5 | 0,810 |
| 108,4 | 0,381 | 74,5 | 0,857 |
| 107,1 | 0,429 | 73,6 | 0,905 |
| 100,0 | 0,476 | 54,7 | 0,952 |

Analisis distribusi frekuensi

Dalam analisis ini, digunakan empat metode untuk menentukan nilai curah hujan rencana, yaitu distribusi Gumbel, Normal, Log-Normal, dan Log-Pearson type III. Analisis dilakukan untuk periode ulang 5 tahun dan 10 tahun. Hasil dari perhitungan hujan rencana (X_T) menggunakan keempat jenis distribusi frekuensi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil perhitungan X_T menggunakan keempat jenis distribusi frekuensi

| Distribusi | Periode Ulang | X_T |
|----------------------|---------------|---------|
| Gumbel | 5 | 132,703 |
| | 10 | 154,440 |
| Normal | 5 | 130,269 |
| | 10 | 143,811 |
| Log-Normal | 5 | 127,789 |
| | 10 | 145,024 |
| Log-Pearson type III | 5 | 127,660 |
| | 10 | 145,472 |

Hasil pengujian distribusi frekuensi data hujan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil perhitungan uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov

| Distribusi Frekuensi | Chi-Kuadrat | | | Smirnov-Kolmogorov | | |
|----------------------|-------------|------------|------------|--------------------|-----------------|----------------|
| | X^2 | X^2_{cr} | Keterangan | ΔP_{maks} | ΔP_{cr} | Keterangan |
| Gumbel | 1 | 5,991 | Diterima | 0,084 | 0,290 | Diterima |
| Normal | 1,5 | 5,991 | Diterima | 0,102 | 0,290 | Diterima |
| Log-Normal | 0,5 | 5,991 | Diterima | 0,059 | 0,290 | Diterima |
| Log-Pearson Type III | 0,5 | 3,841 | Diterima | 0,942 | 0,290 | Tidak Diterima |

Berdasarkan Tabel 7 di atas, dapat disimpulkan bahwa semua jenis distribusi frekuensi memenuhi persyaratan untuk lolos uji Chi-Kuadrat, yaitu $X^2 < X^2_{cr}$. Distribusi Log-Normal dan distribusi Log-Pearson type III merupakan distribusi frekuensi yang sebaiknya digunakan dalam analisis debit limpasan permukaan, karena keduanya memiliki nilai chi-kuadrat terhitung (X^2) yang paling kecil. Untuk hasil uji Smirnov Kolmogorov, dapat disimpulkan bahwa hanya distribusi Log-Pearson type III yang tidak memenuhi persyaratan, karena nilai $\Delta P_{maks} > \Delta P_{cr}$. Dari ketiga jenis distribusi frekuensi yang lolos uji, distribusi Log-Normal sebaiknya digunakan dalam analisis debit limpasan permukaan, karena memiliki nilai ΔP_{maks} yang paling kecil.

Berdasarkan kedua pengujian tersebut, curah hujan rencana (R_{24}) yang digunakan adalah curah hujan maksimum dengan distribusi Log-Normal, karena distribusi ini memenuhi uji Chi-Kuadrat dengan nilai Chi- Kuadrat terhitung (X^2) terkecil serta lolos uji Smirnov-Kolmogorov dengan nilai ΔP_{maks} terkecil.

Besar intensitas hujan dihitung menggunakan Persamaan (3) setelah diperoleh nilai curah hujan rencana (R_{24}) dan waktu konsentrasi (t_c). Hasil perhitungan intensitas hujan (I) dengan periode ulang 5 tahun dan 10 tahun disajikan dalam bentuk Tabel 8.

Tabel 7. Hasil perhitungan intensitas hujan

| T | R_{24} (mm) | I (mm/jam) |
|----|---------------|------------|
| 5 | 127,789 | 27,909 |
| 10 | 145,024 | 31,672 |

Koefisien aliran dan Debit

Analisis koefisien aliran ditetapkan berdasarkan nilai $C_{komposit}$ karena setiap kawasan perumahan memiliki jenis tutupan lahan yang bervariasi. Penentuan nilai koefisien aliran permukaan (C) mengacu pada Asdak (2007), kemudian dihitung menggunakan Persamaan (2). Luasan setiap jenis tutupan lahan diukur melalui hasil *plot* menggunakan ArcGIS. Sebagai contoh, perhitungan $C_{komposit}$ pada perumahan Graha Arta tahun 2004 menunjukkan bahwa nilai koefisien aliran permukaan (C) untuk masing-masing jenis tutupan lahan adalah:

1. Air = 1
2. Hutan = 0,15
3. Semak belukar = 0,18

Nilai koefisien aliran total ($C_{komposit}$) pada perumahan Graha Arta dihitung menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$C_{komposit} = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

$$C_{komposit} = \frac{(1 \times 330,928) + (0,15 \times 15050,903) + (0,18 \times 41775,303)}{330,928 + 15050,903 + 41775,303}$$

$$C_{komposit} = 0,177$$

Hasil perhitungan koefisien aliran total ($C_{komposit}$) pada tahun 2004 dan 2023, serta selisih (ΔC) dan persentase perubahannya ($\% \Delta C$) di seluruh kawasan perumahan Kota Pangkalpinang, disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 8. Perhitungan persentase perubahan koefisien aliran total ($\% \Delta C$)

| Perumahan | $C_{komposit}$ (2004) | $C_{komposit}$ (2023) | ΔC | $\% \Delta C$ |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|---------------|
| Apple Residence I | 0,228 | 0,470 | 0,241 | 105,596 |
| Azzahra Residence II | 0,166 | 0,672 | 0,506 | 304,065 |
| Babel Residence | 0,181 | 0,776 | 0,595 | 328,067 |
| Berkah Mandiri | 0,163 | 0,774 | 0,611 | 375,324 |
| Bumi Kampak Permai | 0,163 | 0,667 | 0,505 | 310,194 |
| Citraland | 0,176 | 0,541 | 0,365 | 206,841 |
| Damai Lestari Residence | 0,179 | 0,766 | 0,587 | 328,776 |
| Damai Lestari Residence I | 0,174 | 0,756 | 0,582 | 334,240 |
| Damai Lestari Residence VI | 0,180 | 0,712 | 0,532 | 295,816 |
| Dealova Bahagia | 0,150 | 0,777 | 0,627 | 417,876 |
| Dealova Bahagia Tahap II | 0,156 | 0,760 | 0,604 | 388,617 |
| Graha Arta | 0,177 | 0,678 | 0,501 | 283,215 |
| Harvest Residence I | 0,161 | 0,590 | 0,429 | 266,857 |
| Indo Residence | 0,182 | 0,794 | 0,612 | 335,838 |
| Legavista IV | 0,150 | 0,738 | 0,588 | 391,915 |
| Matahari Residence | 0,168 | 0,791 | 0,624 | 372,229 |
| Mega Harmoni | 0,250 | 0,747 | 0,497 | 198,957 |
| Paradise Residence III | 0,216 | 0,794 | 0,578 | 268,172 |
| Paradise Residence IV | 0,258 | 0,788 | 0,530 | 205,889 |
| Pasir Padi Residence | 0,158 | 0,581 | 0,424 | 269,052 |
| Pearl Residence I | 0,222 | 0,780 | 0,558 | 251,724 |
| Pelangi Residence | 0,216 | 0,810 | 0,593 | 274,449 |
| Pondok Indah II | 0,181 | 0,767 | 0,586 | 323,551 |
| Pondok Indah VI | 0,170 | 0,638 | 0,467 | 274,518 |
| Puri Arwana | 0,183 | 0,738 | 0,555 | 303,079 |
| Taman Jagung Residence Icon | 0,150 | 0,581 | 0,431 | 287,083 |
| The Greenland City | 0,191 | 0,563 | 0,372 | 194,535 |
| Tjg. Bunga Cluster Anggrek | 0,173 | 0,584 | 0,412 | 238,461 |
| Tjg. Bunga Cluster Seruni | 0,195 | 0,594 | 0,399 | 204,609 |
| Zikri Residence | 0,150 | 0,481 | 0,331 | 220,840 |
| Rata-rata | 0,182 | 0,690 | 0,508 | 285,346 |

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 9, seluruh kawasan yang dianalisis mengalami perubahan signifikan pada nilai koefisien aliran, dari rata-rata 0,182 di tahun 2004 menjadi 0,690 di tahun 2023. Rata-rata peningkatan nilai $C_{komposit}$ sebesar 285,346%. Peningkatan ini disebabkan oleh perubahan kawasan bervegetasi menjadi kawasan nonvegetasi (perumahan) serta penerapan Koefisien

Dasar Hijau (KDH) yang belum optimal sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006.

Hasil perhitungan debit limpasan permukaan (Q) untuk kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang pada tahun 2004 dan tahun 2023 dengan periode ulang 5 tahun dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9. Perhitungan Q pada tahun 2004 dan 2023 dengan periode ulang 5 tahun

| Perumahan | Q_{2004} (m ³ /detik) | Q_{2023} (m ³ /detik) | ΔQ (m ³ /detik) | % ΔQ |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Apple Residence I | 0,038 | 0,077 | 0,040 | 105,596 |
| Azzahra Residence II | 0,019 | 0,079 | 0,059 | 304,065 |
| Babel Residence | 0,023 | 0,098 | 0,075 | 328,067 |
| Berkah Mandiri | 0,023 | 0,109 | 0,086 | 375,324 |
| Bumi Kampak Permai | 0,082 | 0,337 | 0,255 | 310,194 |
| Citraland | 0,232 | 0,712 | 0,480 | 206,841 |
| Damai Lestari Residence | 0,034 | 0,146 | 0,112 | 328,776 |
| Damai Lestari Residence I | 0,037 | 0,159 | 0,122 | 334,240 |
| Damai Lestari Residence VI | 0,042 | 0,165 | 0,123 | 295,816 |
| Dealova Bahagia | 0,049 | 0,255 | 0,206 | 417,876 |
| Dealova Bahagia Tahap II | 0,044 | 0,214 | 0,171 | 388,617 |
| Graha Arta | 0,078 | 0,301 | 0,222 | 283,215 |
| Harvest Residence I | 0,029 | 0,106 | 0,077 | 266,857 |
| Indo Residence | 0,036 | 0,157 | 0,121 | 335,838 |
| Legavista IV | 0,028 | 0,136 | 0,108 | 391,915 |
| Matahari Residence | 0,016 | 0,075 | 0,059 | 372,229 |
| Mega Harmoni | 0,023 | 0,068 | 0,045 | 198,957 |
| Paradise Residence III | 0,032 | 0,120 | 0,087 | 268,172 |
| Paradise Residence IV | 0,030 | 0,091 | 0,061 | 205,889 |
| Pasir Padi Residence | 0,025 | 0,093 | 0,068 | 269,052 |
| Pearl Residence I | 0,034 | 0,121 | 0,087 | 251,724 |
| Pelangi Residence | 0,025 | 0,092 | 0,067 | 274,449 |
| Pondok Indah II | 0,023 | 0,098 | 0,075 | 323,551 |
| Pondok Indah VI | 0,020 | 0,074 | 0,054 | 274,518 |
| Puri Arwana | 0,030 | 0,121 | 0,091 | 303,079 |
| Taman Jagung Residence Icon | 0,036 | 0,141 | 0,104 | 287,083 |
| The Greenland City | 0,328 | 0,967 | 0,638 | 194,535 |
| Ttg. Bunga Cluster Anggrek | 0,142 | 0,479 | 0,338 | 238,461 |
| Ttg. Bunga Cluster Seruni | 0,050 | 0,153 | 0,103 | 204,609 |
| Zikri Residence | 0,086 | 0,275 | 0,189 | 220,840 |
| Total | 1,693 | 6,018 | 4,324 | |
| Rata-rata | | | 0,144 | 285,346 |

Dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan debit limpasan permukaan dengan periode ulang 10 tahun. Hasil perhitungan debit limpasan permukaan (Q) untuk kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang pada tahun 2004 dan tahun 2023 dengan periode ulang 10 tahun didapatkan total Q masing-masing adalah 1,922 m³/detik dan 6,829 m³/detik.

Berdasarkan Tabel 10, total ΔQ antara kedua tahun tersebut untuk periode ulang 5 tahun adalah 4,324 m³/detik, dengan rata-rata persentase perubahan mencapai 285,346%. Sementara itu, hasil perhitungan total ΔQ dengan periode ulang 10 tahun didapatkan sebesar 4,907 m³/detik dengan rata-rata persentase perubahan yang sama.

Peningkatan nilai koefisien limpasan yang signifikan menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan memiliki pengaruh dominan terhadap respon hidrologi kawasan. Hasil ini sejalan dengan temuan Hu et al. (2020) dan Sugandi & Pascawijaya (2019) yang menyatakan bahwa urbanisasi mempercepat aliran permukaan dan menurunkan kapasitas infiltrasi tanah. Namun, besarnya peningkatan limpasan di Kota Pangkalpinang relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa kota lain, yang mengindikasikan rendahnya penerapan infrastruktur hijau dan pengendalian tata ruang pada kawasan perumahan. Temuan ini mengimplikasikan bahwa kebijakan pembangunan perumahan yang tidak disertai pengendalian ekologis berpotensi meningkatkan kerentanan banjir perkotaan dalam jangka panjang.

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan hubungan yang kuat antara perubahan tutupan lahan dan peningkatan limpasan permukaan, beberapa keterbatasan tetap perlu diperhatikan dalam penafsirannya. Penggunaan metode rasional, meskipun lazim dalam analisis hidrologi perkotaan, memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan variasi spasial dan temporal curah hujan secara rinci. Selain itu, pemanfaatan citra satelit resolusi menengah berpotensi menimbulkan ketidakpastian pada klasifikasi tutupan lahan, terutama pada area dengan karakteristik penutup campuran. Studi ini juga belum secara eksplisit mempertimbangkan kondisi sistem drainase eksisting maupun pengaruh kejadian hujan ekstrem. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diposisikan sebagai pendekatan awal dalam memahami dinamika limpasan permukaan di kawasan perkotaan, yang masih dapat disempurnakan melalui penggunaan data beresolusi lebih tinggi dan pendekatan pemodelan hidrologi yang lebih komprehensif.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan akibat pembangunan kawasan perumahan di Kota Pangkalpinang telah menyebabkan peningkatan signifikan limpasan permukaan. Luas lahan bervegetasi menurun dari 1.178.791,511 m² pada tahun 2004 menjadi 300.960,324 m² pada tahun 2023, yang diikuti oleh peningkatan debit limpasan hingga rata-rata 285,346%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa konversi lahan yang tidak diimbangi dengan pengendalian tata ruang dan penerapan infrastruktur hijau berkontribusi terhadap meningkatnya risiko banjir perkotaan. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kebijakan pengelolaan ruang melalui penerapan Koefisien Dasar Hijau (KDH), pengembangan sistem drainase berkelanjutan, serta pendekatan perencanaan yang lebih adaptif. Meskipun penelitian ini memiliki keterbatasan, hasil yang diperoleh dapat menjadi dasar awal bagi perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan perkotaan yang lebih adaptif dan berkelanjutan di Kota Pangkalpinang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada DISPERKIM Kota Pangkalpinang dan BMKG Kota Pangkalpinang atas kesediaannya memberikan data yang penulis butuhkan, serta pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Referensi

- Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Edisi Revisi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Astuti, A. J. D., Yuniaستuti, W., Nurwihastuti, D. W., dan Triastuti, R., 2017. Analisis Koefisien Aliran Permukaan dengan Menggunakan Bransby-Williams di Sub Daerah Aliran Sungai Babura Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Geografi*. 9(2): 158-165. <https://doi.org/10.24114/jg.v9i2.7058>.
- Azhari, T. dan Aris, M., 2020. *Analisis Debit Limpasan Akibat Adanya Perubahan Tata Guna Lahan (Studi Kasus DAS Jenelata Kabupaten Gowa)*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar.
- BPS Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 2024. *Provinsi Kepulauan Bangka Belitung dalam Angka Vol. 23*. BPS Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Pangkalpinang.
- BR, Sri Harto, 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Pangkalpinang, 2024. *Data Perumahan Kota Pangkalpinang*. Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Pangkalpinang, Pangkalpinang.
- Farida, A., 2006. *Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon DAS Menggunakan Model Rasional Modifikasi (Studi Kasus Sub Daerah Aliran Sungai Tambakbayan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta)*. Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Goldblatt, R., Wei, Y., Gordon, H., dan Amit K. K., 2016. Detecting the Boundaries of Urban Areas in India a Dataset for Pixel-Based Image Classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing Journal*. <https://doi.org/10.3390/rs8080634>.
- Hambali, R., Apriyanti, Y., dan Irvani, 2021. Pembangunan Prototipe Sumur Resapan di Kawasan Perumahan Padat Penduduk Kota Pangkalpinang. *Jurnal Abdi Insani Universitas Mataram*. 8(2): 181-192. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v8i2.406>.
- Hu, S., Fan, Y., and Zhang, T., 2020. Assessing the Effect of Land Use Change on Surface Runoff in a Rapidly Urbanized City: A Case Study of the Central Area of Beijing. *MDPI Online Jurnal*. 9(17): hal 1-15. <https://doi.org/10.3390/land9010017>.
- Loebis, J., 1987. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Mazur, A., 2018. Quantity and Quality of Surface and Subsurface Runoff from an Eroded Loess Slope Used for Agricultural Purposes. *MDPI Online Jurnal*. 10(1132): 1-17. <https://doi.org/10.3390/w10091132>.
- Menteri Pekerjaan Umum, 2006. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 Tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung*. Direktorat Penataan Bangunan dan Lingkungan, Jakarta.

- Rozanda, N. E., Marzuki, I., dan Permana, I., 2012. Pemanfaatan Google Earth Imaginary Untuk Segmentasi Lahan Hijau. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Ind. 4, No. 2008*. 119-125.
- Soemarto, C. D., 1999. *Hidrologi Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Soewarno, 2000. *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Citra Aditya Bakti, Bandung.
- Sugandi, D. and Pascawijaya, R., 2019. Decreasing the Surface Runoff Through the Rainfall Absorption in Bandung Basin. *International Journal of Hydrology*. 3(6): 500-505. <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00216>.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelaanjutan*. Edisi Pertama, Andi Offset, Yogyakarta.
- Susilowati dan Sadad, I., 2015. Analisa Karakteristik Curah Hujan di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Konstruksia*. 7(1): 13-26.
- Triatmodjo, B., 2009. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Wahyunto, Abidin, M. Z., Priyono, A., dan Sunaryo, 2001. Studi Perubahan Penggunaan Lahan di Sub DAS Citarik, Jawa Barat dan DAS Kaligarang, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah*. Bogor.
- Ward, A. D., and Trimble, S. W., 2013. *Environmental Hydrology*. 2nd Edition, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Wesli, 2008. *Drainase Perkotaan*. Edisi Pertama, PT Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Yount, 1999. *Jumlah Populasi Kurang dari 100 Lebih Baik Diambil Sebagai Sampel Penelitian Populasi*. Bina Aksara, Jakarta.

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]