

## Pemodelan Sumur Resapan Sebagai Upaya Penurunan Risiko Banjir Kota Denpasar pada DAS Badung

Tri Hayatining Pamungkas<sup>1\*</sup>, Mawiti Infantri Yekti<sup>2</sup>, Kadek Diana Harmayani<sup>2</sup>, Siti Nurul Khotimah<sup>3</sup>, I Made Kariyana<sup>1</sup>

Teknik Sipil, Universitas Ngurah Rai, Denpasar<sup>1</sup>, Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jimbaran<sup>2</sup>, Teknik Sipil, Universitas Lampung, Bandar Lampung<sup>3</sup>

Koresponden\*, Email: [trihayatiningpamungkas@gmail.com](mailto:trihayatiningpamungkas@gmail.com)

| Info Artikel |                  | Abstract   |
|--------------|------------------|--|
| Diajukan     | 20 Desember 2021 | <i>Regional Disaster Management Agency of Bali Province in 2013 stated that some areas of Denpasar were flooded because of the high rainfall in the residential area so there was a puddle in some areas. The impact of flood can be reduced by building infiltration wells. The infiltration wells are able to lower the discharge and rain runoff by increasing the infiltration capacity in the watersheds. The planning of infiltration wells was analyzed by applying Geographic Information System on the Badung catchment area that is located in the Denpasar. Furthermore, HEC-HMS software used to calculate the flooding and planning the infiltration wells based on SNI 03-2453-2002. The results of the infiltration wells in Badung catchment area can reduce the flood discharge up to 50.70% and the volume of flood runoff 74.09%, so the application of rainwater harvesting with the infiltration wells can be used as a reference as a form of the application of water resources conservation in an efforts to reduce the risk of flood disaster in Denpasar City.</i> |
| Diperbaiki   | 06 Juli 2022     |  |
| Disetujui    | 15 Juli 2022     |  |

*Keywords: infiltration wells, decreased risk of flooding, geographic information system, badung catchment area*

Kata kunci: sumur resapan, penurunan risiko banjir, sistem informasi geografis, das badung

### Abstrak

Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi Bali pada tahun 2013 menyatakan bahwa beberapa wilayah Denpasar terendam banjir karena tingginya curah hujan pada daerah pemukiman sehingga terjadi genangan di beberapa area. Dampak kejadian banjir dapat dikurangi dengan membangun sumur resapan. Sumur resapan mampu menurunkan debit dan limpasan hujan dengan cara meningkatkan kapasitas infiltrasi di daerah aliran sungai. Perencanaan sumur resapan dianalisis dengan menerapkan sistem informasi geografis pada DAS Badung yang terdapat di wilayah Denpasar. Selanjutnya dilakukan perhitungan banjir dengan *software* HEC-HMS dan perencanaan sumur resapan berdasarkan SNI 03-2453-2002. Hasil analisis sumur resapan pada sub DAS Badung dapat menurunkan debit banjir kala ulang 50 tahun sampai 50,70% dan volume limpasan banjir 74,09%. sehingga penerapan pemanenan air hujan dengan sumur resapan dapat dijadikan salah satu referensi sebagai bentuk penerapan konservasi sumber daya air dalam upaya penurunan risiko bencana banjir di Kota Denpasar.

### 1. Pendahuluan

Pertumbuhan pada daerah perkotaan akan menciptakan dampak positif dan dampak negatif. Adapun dampak negatif yang terjadi akibat kepadatan populasi di daerah perkotaan adalah perubahan tutupan lahan, dari lahan resapan menjadi lahan kedap air. Hal ini membuat area perkotaan selalu berisiko banjir ketika hujan terjadi. Kepadatan populasi yang relatif tinggi akan memperburuk dampak yang terjadi, terutama dampak kerusakan infrastruktur yang mengakibatkan kerugian materiil penduduk kota [1].

Hujan dengan intensitas yang tinggi, apabila terjadi dalam waktu yang lama, sebagian besar air hujan akan mengalir/melimpas di atas permukaan dan tidak tembus air. Untuk dapat mengatasi adanya limpasan berlebih yang dapat

menciptakan genangan, maka perlu adanya proses menangkap, mengalihkan dan menyimpan air hujan yang biasa juga disebut dengan istilah pemanenan air hujan [2]. Pemanenan air hujan/*rainwater harvesting* merupakan salah satu dari beberapa alternatif teknologi pengelolaan air yang mempunyai prinsip dapat meningkatkan infiltrasi dan menurunkan limpasan permukaan sehingga simpanan air di dalam tanah meningkat [3]. Mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tubuh bumi merupakan prinsip dasar konservasi sumber daya air [4].

Kota Denpasar sebagai Ibukota Provinsi Bali mengalami perkembangan pembangunan yang pesat dari tahun ke tahun. Pesatnya laju pembangunan Kota Denpasar menyebabkan semakin bertambah padatnya penduduk Kota Denpasar.

Berdasarkan hasil proyeksi penduduk Kota Denpasar, pada tahun 2018 tercatat berjumlah 930.600 jiwa dengan laju pertumbuhan dari tahun 2010-2018 mencapai 17.350 jiwa dan kepadatan 7.280 per km<sup>2</sup> [5]. Berdasarkan data yang diperoleh dari BPBD Provinsi Bali Tahun 2013, dikatakan bahwa terdapat beberapa wilayah Denpasar yang pada saat itu terendam banjir [6]. Adapun salah satu sebab terjadinya banjir diakibatkan oleh tingginya curah hujan, yang apabila terjadi pada daerah pemukiman akan menyebabkan banjir sehingga terjadi genangan di beberapa area [7].

Menurut Peraturan Daerah Kota Denpasar Nomor 27 tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Denpasar tahun 2011-2031 pasal 28 ayat (5) huruf a menyatakan bahwa pemerintah merencanakan akan melakukan normalisasi aliran Sungai Badung untuk sistem pengendalian banjir. Hal ini disebabkan karena menurut pasal 41 ayat (2) menyatakan bahwa Sungai Badung merupakan salah satu kawasan rawan banjir [8]. Oleh karenanya perlu penanganan khusus dalam pengendalian banjir [9]. Untuk dapat mengurangi dampak atas peristiwa banjir di Kota Denpasar, maka diperlukan upaya penurunan debit dan volume limpasan akibat hujan. Metode yang digunakan tentu harus sesuai dengan keadaan perkotaan yang memiliki keterbatasan lahan, salah satu kegiatan atau upaya pemerintah adalah dengan pemanfaatan air hujan dengan ketentuan seperti yang teruang dalam Peraturan Wali Kota Denpasar Nomor 18 Tahun 2010 tentang Pemanfaatan Air Hujan. Pemanfaatan air hujan yang tujuannya untuk menurunkan debit banjir dapat dilakukan dengan cara meningkatkan kapasitas infiltrasi di daerah aliran sungai (DAS), sumur resapan adalah pilihan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi di DAS [10].

Sumur resapan merupakan salah satu metode alternatif dari sistem pemanenan air hujan (PAH) yang memiliki manfaat mengurangi limpasan banjir, memperbaiki kualitas air tanah, dan memberikan cadangan air tanah yang cukup [11]. Metode ini merupakan salah satu cara untuk mencapai tujuan strategi pengelolaan sumber daya air di WS Bali-Penida yang termasuk dalam aspek rangkaian kegiatan konservasi sumber daya air [7]. Tindakan konservasi sumber daya air ini memiliki peran untuk memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang [12].

Analisis sumur resapan tentu memerlukan informasi mengenai kondisi permukaan dalam bentuk spasial yang dapat dianalisis dengan menggunakan data penginderaan jauh dan mampu divisualisasikan dengan baik oleh SIG [13].

Informasi geospasial seperti vegetasi lahan, bentuk lahan, kelerengan, jenis tanah, curah hujan, tutupan lahan, dan jarak terhadap sungai, turut berperan sebagai salah satu faktor pendukung penyelesaian masalah PAH, sehingga diperlukan peta-peta tersebut. Peta yang berkaitan dengan keruangan hendaknya merupakan peta yang bergeoreferensi. Pembuatan peta yang bergeoreferensi dapat menggunakan teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis [14]. Teknologi penginderaan jauh merupakan teknologi yang mempunyai kemampuan penyediaan data dan informasi kebumiharian yang bersifat dinamik Data dan informasi mutakhir sangat diperlukan. Ketersediaan data dan informasi yang diimbangi dengan pengolahan data menjadi informasi wilayah dapat dilakukan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Sehingga, pemanfaatan data penginderaan jauh dan SIG untuk kajian sumberdaya air dapat diterapkan [15]

Berdasar dengan latar belakang di atas, diharapkan penelitian ini dapat mengidentifikasi efektivitas sumur resapan dalam menurunkan debit dan volume banjir dengan menerapkan Sistem Informasi Geografis pada DAS Badung sesuai Standar Nasional Indonesia [16] dan menyesuaikan parameter terkait sesuai dengan kondisi Daerah Denpasar sesuai dengan Peraturan Wali Kota [17], sehingga dapat menjadi salah satu bentuk upaya untuk menurunkan risiko bencana banjir di Kota Denpasar.

## 2. Metode

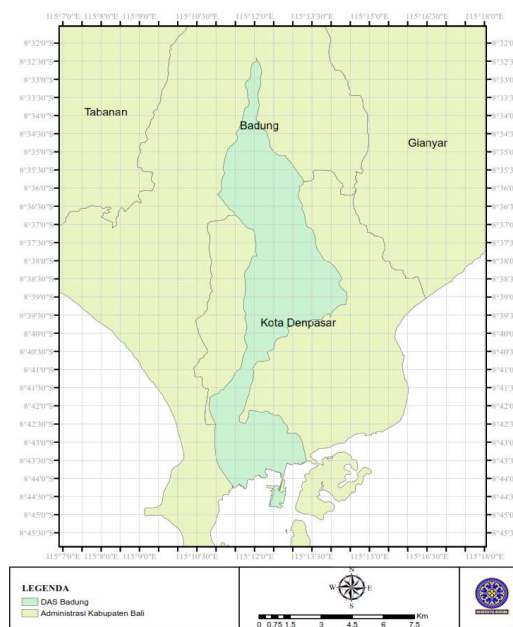
Lokasi penelitian ini dilakukan pada Daerah Aliran Sungai Badung yang masuk pada wilayah Kota Denpasar. DAS Badung terletak pada zona Sarbagita dengan lintas kab/kota yaitu Badung dengan luas 12,69 km<sup>2</sup> dan Denpasar 42,26 km<sup>2</sup> dengan luas total 54,95 km<sup>2</sup> dan panjang sungai 19,6 km. Adapun jenis sungainya termasuk pada jenis sungai perennial [7]. Sungai perennial yaitu sungai yang mempunyai aliran sepanjang tahun. Selama musim kering di mana tidak terjadi hujan, aliran sungai perennial adalah aliran dasar yang berasal dari aliran air tanah [18].

Data yang digunakan berupa data sekunder. Data untuk analisis sistem penginderaan jauh diperoleh dari web portal Badan Informasi Geospasial, data untuk analisis hidrologi didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Bali-Penida, dan data untuk analisis klasifikasi tanah untuk perencanaan sumur resapan didapat dari peta jenis tanah dan data penyelidikan tanah dari konsultan perencana PT. Parama Krida Pratama dalam perencanaan pengendalian sedimen Waduk Muara Nusa Dua di Kota Denpasar.

Pengolahan data dibagi menjadi 3 tahap yaitu analisis penginderaan jauh, analisis hidrologi, dan analisis sumur resapan. Analisis penginderaan jauh untuk mendapatkan peta

wilayah studi dan peta tutupan lahan dengan cara proses deliniasi dan analisis tutupan lahan dengan *software* ArcGIS. Selanjutnya dilakukan perhitungan hidrologi untuk hujan kawasan, analisis frekuensi, dan curah hujan rencana pada wilayah studi berdasarkan peta DAS Badung dan data curah hujan serta analisis debit banjir menggunakan *software* HEC-HMS berdasarkan pada data hasil analisis hidrologi, data karakteristik tanah, dan hasil hidrograf satuan sintetik yang dideskripsikan sesuai sub DAS wilayah studi. Selanjutnya adalah analisis sumur resapan sesuai ketentuan SNI 03-2453-2002 pada setiap sub DAS wilayah studi. Hasil dari analisis ini berupa debit dan volume banjir yang dapat direduksi oleh sumur resapan.

Penginderaan jauh dapat didefinisikan sebagai ilmu, seni, dan teknik untuk memperoleh informasi suatu objek tanpa menyentuh secara langsung objek yang diamati [19]. Seperti yang telah diketahui bahwa lokasi penelitian ini dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Badung yang masuk pada wilayah Kota Denpasar, berikut tampak posisi DAS Badung dan batas administratif Kota Denpasar [20] seperti pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Daerah Aliran Sungai Badung [20]

Dalam analisis, penginderaan jauh dilakukan untuk menjadi dasar pembagian wilayah studi dan identifikasi tata guna lahan dengan cara pengolahan *digital elevation model* (DEM) menggunakan 2 *software* GIS yaitu *Global Mapper* dan *ArcGIS*. Berikut urutan langkah yang diperlukan untuk

membuat jaringan sungai dan batas daerah aliran sungai dari DEM pada *software ArcGIS* [21]:

- Langkah pertama, menentukan arah aliran air dengan algoritma *flow direction*.
- Langkah kedua, mengurangi atau menormalkan cekungan dengan algoritma *sink*. Jika sink telah dihilangkan akan dihasilkan DEM yang sudah terkoreksi (*depression-less DEM*). Jika hasilnya belum baik proses *sink* diulangi kembali.
- Langkah ketiga, setelah didapatkan DEM yang terkoreksi, selanjutnya menentukan akumulasi arah aliran, mengurutkan orde sungai (misal menggunakan penomoran *Strahler*), stream to *feature*, dan menghubungkan ruas-ruas jaringan sungai (*stream link*).
- Langkah keempat, menentukan aliran setiap ruas dengan algoritma *flow length* dan *snap pour point*. Langkah terakhir adalah menentukan batas DAS (*watershed*).

Analisis hidrologi dihitung berdasarkan data curah hujan dan Peta DAS Badung, di dalam analisis ini terdapat beberapa langkah yang harus dilalui sampai akhirnya mendapatkan data hujan dan debit banjir rencana. Analisis perhitungan curah hujan kawasan dengan Metode *Polygon Thiessen* dihitung menggunakan persamaan 1 [18]:

$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + \dots + A_n \cdot d_n}{A} \quad (1)$$

dimana:

A = luas areal

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

d1, d2, ..., dn = tinggi curah hujan di pos 1, 2 ... n

A1, A2, ..., An = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n

Analisis curah hujan rencana dengan Metode Mononobe dihitung menggunakan persamaan 2 [18]:

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^3 \quad (2)$$

Analisis Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) digunakan metode analisis HSS Nakayasu yang dihitung secara berurutan menggunakan persamaan 3 sampai persamaan 6 [18]:

Time lag ( $T_g$ ) dan Waktu Puncak ( $T_p$ )

$$T_g = 0,4 \times 0,05L \quad \text{untuk } L > 15\text{km} \quad (3)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15\text{km} \quad (4)$$

$$T_p = T_g + t_r \quad (5)$$

$$T_r = 0,5 T_g \text{ sampai } T_g \quad (6)$$

dimana:

$T_p$  = peak time (jam)

$T_g$  = Time lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)

$T_r$  = satuan waktu curah hujan (jam)

$L$  = panjang sungai (km)

Debit puncak dihitung dengan persamaan 7:

$$Q_p = \frac{A \cdot R_e}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (7)$$

dimana:

$Q_p$  = debit puncak banjir ( $m^3/det$ )

$R_e$  = hujan efektif satuan (1 mm)

$T_p$  = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$A$  = luas daerah pengaliran sampai outlet (km)

$T_{0,3}$  = waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30%

$$(T_{0,3} = \alpha T_g)$$

$\alpha$  = parameter hidrograf, dimana

$\alpha = 2,0 \rightarrow$  pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5 \rightarrow$  pada bagian naik hidrograf lambat dan turun cepat

$\alpha = 3,0 \rightarrow$  pada bagian naik hidrograf cepat dan turun lambat

Persamaan bentuk dasar hidrograf satuan

Pada waktu kurva naik dihitung dengan persamaan 8:

$$Q(t) = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (8)$$

dimana:

$Q(t)$  = limpasan sebelum mencari debit puncak ( $m^3$ )

$t$  = waktu (jam)

Pada waktu kurva turun dihitung secara berurutan

menggunakan persamaan 9 sampai persamaan 11:

Selang nilai:  $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$

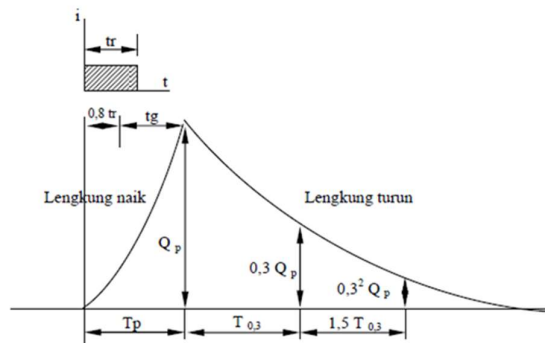
$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3 \left( \frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right) \quad (9)$$

Selang nilai:  $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3 \left( \frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \right) \quad (10)$$

Selang nilai:  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q(t) = Q_p \cdot 0,3 \left( \frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{2 \cdot T_{0,3}} \right) \quad (11)$$



**Gambar 2.** Hidrograf Satuan Sintesis Metode Nakayasu [18]

Analisis Sumur direncanakan pada setiap sub DAS wilayah studi dengan hasil analisis berupa debit dan volume banjir yang dapat direduksi oleh sumur resapan. Sumur resapan mempunyai makna sebagai prasarana untuk menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah, yang dapat

berfungsi untuk mencegah penurunan tanah, mengurangi meluasnya penyusutan/instruksi air laut ke arah daratan, dan menambah potensi air tanah [22]. Pada penelitian ini analisis disesuaikan dengan tata cara perencanaan sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan yang tertuang pada SNI 03-2453 [16]:

Volume andil banjir dihitung dengan persamaan 12.

$$V_{ab} = 0,855 \cdot C_{tadiah} \cdot A_{tadiah} \cdot R \quad (12)$$

dimana:

$V_{ab}$  = volume andil banjir yang akan ditampung sumur resapan ( $m^3$ )

$C_{tadiah}$  = koefisien limpasan dari bidang tadah (tanpa satuan)

$A_{tadiah}$  = luas bidang tadah ( $m^2$ )

$R$  = tinggi hujan harian rata-rata ( $L/m^2/hari$ )

Volume andil hujan yang meresap dihitung dengan persamaan 13:

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{R} \cdot A_{total} \cdot K \quad (13)$$

dimana:

$V_{rsp}$  = volume air hujan yang meresap ( $m^3$ )

$t_e$  = durasi hujan efektif (jam) =  $0,9 R_{0,92} / 60$  (jam)

$R$  = tinggi hujan harian rata-rata ( $L/m^2/hari$ )

$A_{total}$  = luas dinding sumur + luas alas sumur ( $m^2$ )

$K$  = koefisien permeabilitas tanah ( $m/hari$ )

Penentuan jumlah sumur resapan air hujan, terlebih dahulu menghitung  $H_{total}$  dengan persamaan 14 dan dilanjutkan pada persamaan 15:

$$H_{total} = \frac{V_{ab} - V_{rsp}}{A_h} \quad (14)$$

$$n = \frac{H_{total}}{H_{rencana}} \quad (15)$$

dimana:

$n$  = jumlah sumur resapan air hujan (buah)

$H_{total}$  = kedalaman total sumur resapan air hujan (m)

$H_{rencana}$  = kedalaman yang direncanakan < kedalaman air tanah (m)

Laju infiltrasi dari sumur resapan digunakan metode Zangar yang dihitung dengan menggunakan persamaan 16 [10].

$$Q = \frac{2\pi K L_w^2}{\ln\left(\frac{2L_w}{r_w}\right) - 1} \quad (16)$$

dimana:

$Q$  = laju infiltrasi sumur resapan ( $m^3/s$ )

$K$  = *hydraulic conductivity* (mm/jam)

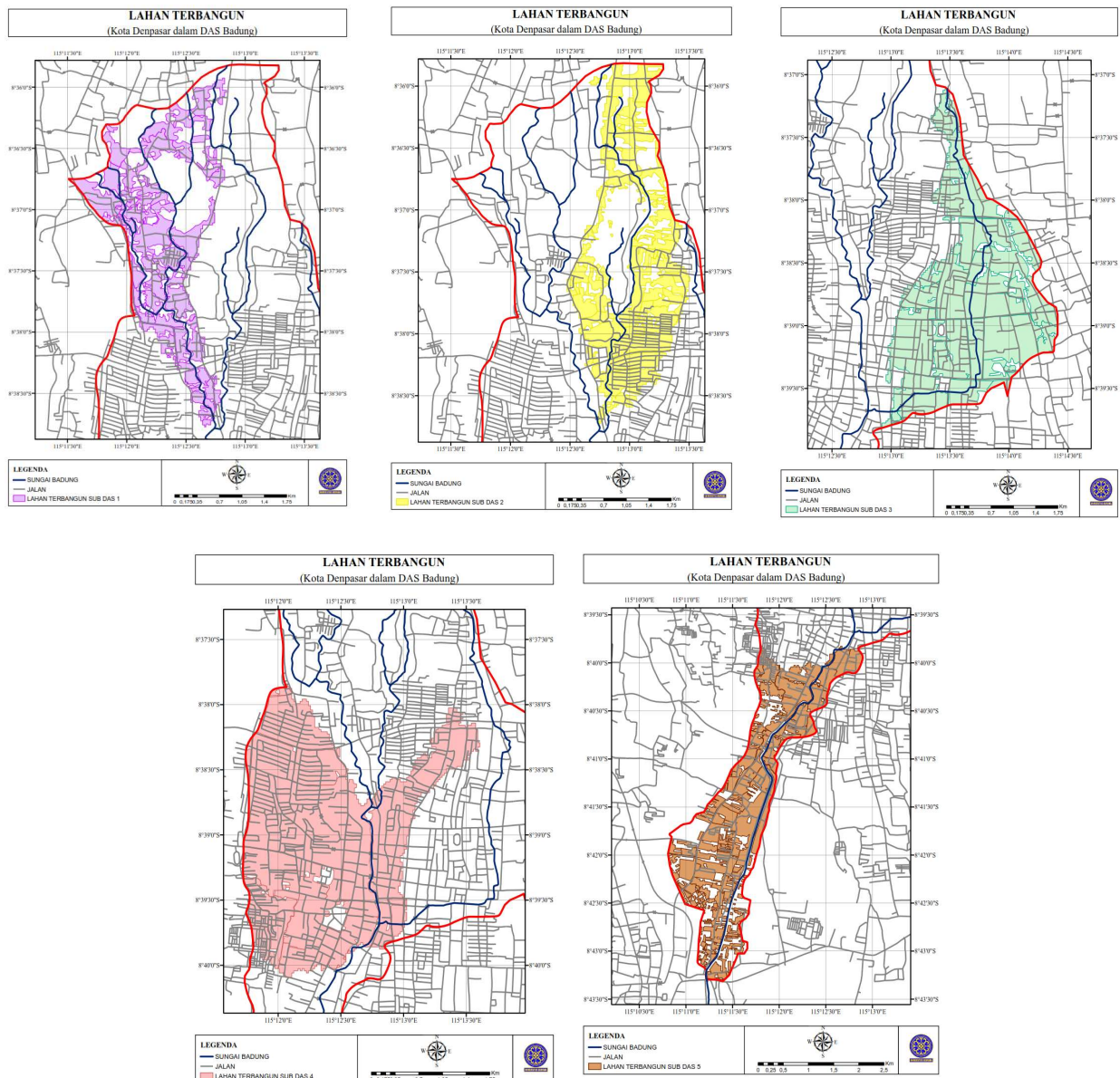
$L_w$  = kedalaman sumur resapan (m); dan

$r_w$  = jari-jari sumur resapan (m)

Di dalam analisis sumur resapan seperti yang telah dijelaskan di atas, terdapat 2 parameter yang belum ditentukan pada SNI 03-2453-2002, yaitu tentang koefisien limpasan dan *hydraulic conductivity*. Untuk menentukan koefisien limpasan bidang tadah akan disesuaikan berdasarkan koefisien *runoff* dan persentase kedap air pada tata cara perhitungan debit banjir rencana sesuai SNI No: 2415 [23]. Sedangkan untuk penentuan *hydraulic conductivity* akan disesuaikan dengan nilai kelulusan berdasarkan jenis batuan pada peraturan pemanfaatan air hujan sesuai peraturan Walikota Denpasar No. 10 [17].

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis penginderaan jauh adalah hasil dari proses deliniasi DAS Badung yang masuk dalam wilayah Kota Denpasar, sehingga didapat batas setiap sub DAS wilayah studi. Selanjutnya, hasil dari analisis penginderaan jauh adalah hasil data luas daerah dan luas tutupan lahan pada setiap sub DAS, yang akan menjadi dasar dalam analisis perhitungan sumur resapan. Hasil analisis ini dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 1**.

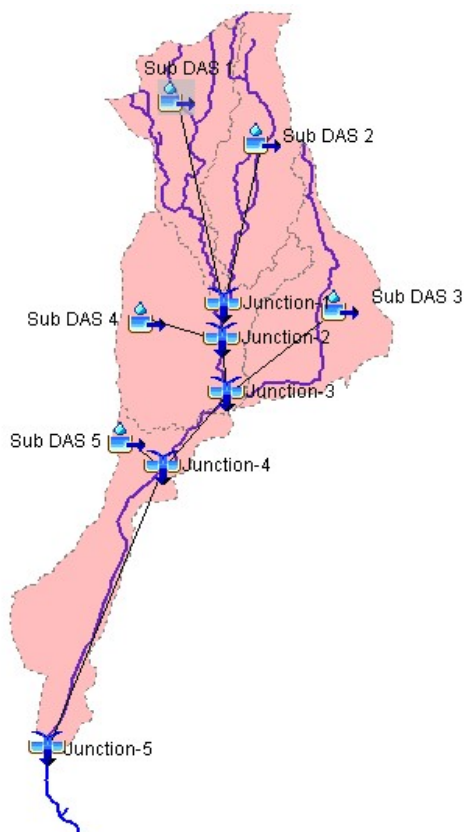


**Gambar 3.** Lahan Terbangun Wilayah Studi

**Tabel 1.** Luas Daerah Terbangun Pada Sub DAS Wilayah Studi

| No           | Deskripsi | Luas Daerah Terbangun          |  |
|--------------|-----------|--------------------------------|--|
|              |           | Luas Daerah (km <sup>2</sup> ) | Luas Daerah Terbangun (km <sup>2</sup> ) |
| 1            | Sub DAS 1 | 6,027                          | 3,331                                    |
| 2            | Sub DAS 2 | 6,249                          | 3,943                                    |
| 3            | Sub DAS 3 | 6,682                          | 6,057                                    |
| 4            | Sub DAS 4 | 8,261                          | 7,789                                    |
| 5            | Sub DAS 5 | 7,919                          | 5,411                                    |
| <b>TOTAL</b> |           | <b>35,138</b>                  | <b>26,532</b>                            |

Setelah didapatkan pembagian sub DAS wilayah studi, selanjutnya dilakukan analisis debit banjir pada kala ulang 50 tahun yang dianalisis menggunakan bantuan *software* HEC-HMS. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat model basin yang telah disesuaikan berdasarkan wilayah bagian sub DAS hasil deliniasi. Dengan memasukkan bagian-bagian dalam model basin yang telah disesuaikan berdasarkan posisi sub DAS dan posisi cabang-cabang sungai, di dapat hasil interpretasi model datanya dalam *software* HEC-HMS seperti **Gambar 4** di

**Gambar 4.** Model Basin pada Wilayah Studi

Selanjutnya, dimasukkan hasil analisis hidrologi yaitu data analisis intensitas curah hujan rancangan kala ulang 50 tahun dengan rentang waktu hujan rencana selama 6 jam. Hujan pada jam pertama memiliki intensitas senilai 85,7 mm, jam kedua 54 mm, jam ketiga 41,2 mm, jam keempat 34 mm, jam kelima 29,3 mm, dan pada jam keenam intensitas hujannya adalah 25,9 mm. Kemudian data ini akan dikombinasikan dengan karakteristik setiap sub DAS wilayah studi berupa luas daerah dan panjang sungai seperti pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Luas Daerah dan Panjang Sungai Sub DAS Wilayah Studi

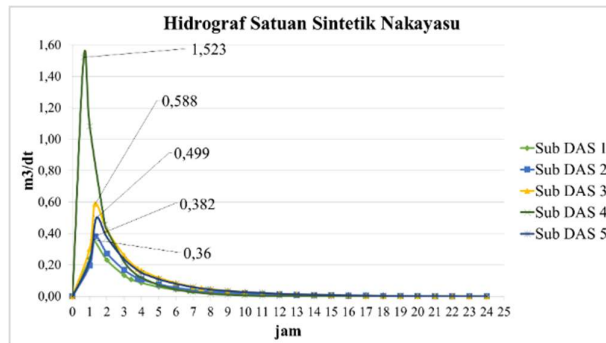
| No           | Deskripsi | Luas Daerah dan Panjang Sungai |                                   |
|--------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|
|              |           | Luas Daerah (km <sup>2</sup> ) | Panjang Sungai (km <sup>2</sup> ) |
| 1            | Sub DAS 1 | 6,027                          | 6,022                             |
| 2            | Sub DAS 2 | 6,249                          | 7,050                             |
| 3            | Sub DAS 3 | 6,682                          | 7,025                             |
| 4            | Sub DAS 4 | 8,261                          | 2,586                             |
| 5            | Sub DAS 5 | 7,919                          | 7,570                             |
| <b>TOTAL</b> |           | <b>35,138</b>                  | <b>30,251</b>                     |

Untuk perhitungan debit banjir dengan *software* HEC-HMS pada penelitian ini tidak dilakukan kalibrasi model, hal ini dikarenakan bahwa program HEC-HMS memiliki konsep dasar data hujan sebagai input air untuk satu atau beberapa sub daerah tangkapan air yang dianalisa, kemudian jenis datanya berupa intensitas, volume, atau kumulatif volume hujan [24], hal lain yang menjadi dasar tidak dilakukannya kalibrasi model pada penelitian ini adalah karena model yang sederhana ini tidak dapat dimasukkan parameter-parameter lain yang kompleks [24] sesuai dengan data yang terdapat pada Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Bali-Penida BWS [7] salah satunya adalah drainase perkotaan yang berperan serta dalam hal menanggulangi limpasan air hujan.

Sebelum dilakukan analisis debit banjir dengan bantuan *software* HEC-HMS, agar hasilnya lebih akurat maka diperlukan penyesuaian model banjir pada setiap Sub DAS. Seperti yang diketahui bahwa parameter yang berpengaruh terhadap waktu dan debit puncak adalah luas daerah dan panjang sungai pada setiap sub DAS, dengan nilai parameter yang memiliki nilai berbeda maka di dapat waktu puncak ( $T_p$ ) dan debit puncak ( $Q_p$ ) yang berbeda pula seperti pada **Gambar 5**.

Berdasarkan dengan panduan [25] dan didasarkan dengan tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk menganalisis debit dan volume banjir yang terjadi dan didasarkan pada hasil data deliniasi DAS. Pada HEC-HMS dipilih fasilitas menu *direct*

*runoff* (limpasan langsung) dengan model *User-specified unit hydrograph*, dengan data unit *hydrograph* yang dimasukkan adalah data hasil hitung HSS Nakayasu yang dianalisis setiap bagian Sub DAS.



**Gambar 5.** Kurva HSS Nakayasu Sub DAS Wilayah Studi

Setelah data-data dimasukkan pada *software* HEC-HMS dengan disertai data analisis intensitas curah hujan rancangan kala ulang 50 tahun, kemudian dilakukan *run program*. Sehingga didapat hasil *summary result* debit banjir pada kala ulang 50 tahun. Hasil debit aliran sub DAS wilayah studi yang memiliki debit limpasan paling tinggi adalah Sub DAS 4 dengan debit sebesar 94,3 m<sup>3</sup>/detik. Sedangkan untuk yang memiliki debit limpasan paling kecil terjadi pada sub DAS 1 yaitu dengan besar debit senilai 33,4 m<sup>3</sup>/detik seperti pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil *summary result* dari *software* HEC-HMS

| Hydrologic Element | Catchment Area (km <sup>2</sup> ) | Peak Discharge (m <sup>3</sup> /s) | Time of Peak | Volume (mm) |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|
| Junction-1         | 12,276                            | 70,8                               | 03:00        | 154,46      |
| Sub DAS 2          | 6,249                             | 37,4                               | 03:00        | 163,38      |
| Sub DAS 1          | 6,027                             | 33,4                               | 03:00        | 145,20      |
| Sub DAS 4          | 8,261                             | 94,3                               | 03:00        | 237,76      |
| Junction-2         | 20,537                            | 160,9                              | 03:00        | 187,97      |
| Junction-3         | 27,219                            | 214,2                              | 03:00        | 199,69      |
| Sub DAS 3          | 6,682                             | 57,3                               | 03:00        | 235,74      |
| Sub DAS 5          | 7,919                             | 50,6                               | 03:00        | 176,82      |
| Junction-4         | 35,138                            | 264,8                              | 03:00        | 194,54      |
| Junction-5         | 35,138                            | 264,8                              | 03:00        | 194,54      |

Setelah proses analisis banjir dengan bantuan *software* HEC-HMS, selanjutnya dilakukan analisis sumur resapan sesuai dengan SNI 03-2453-2002 dengan nilai parameter yang sudah dianalisis dan ditentukan berdasarkan olah data sebelumnya, berikut adalah perhitungan sumur resapan pada Sub DAS 1:

1. Perhitungan volume andil banjir

Ditetapkan:

$$C_{tadiah} = 0,9$$

$$A_{tadiah} = 3.331.106 \text{ m}^2 \text{ (luas lahan terbangun)}$$

$$R = 116,347 \text{ mm/hari}$$

Perhitungan:

$$V_{ab} = 0,855 \cdot C_{tadiah} \cdot A_{tadiah} \cdot R$$

$$V_{ab} = 0,855 \cdot 0,9 \cdot 3.331.106 \cdot 116,347$$

$$V_{ab} = 298.230,6 \text{ m}^3$$

2. Perhitungan volume penampungan (storasi) setelah hujan usai

Ditetapkan:

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$K_h = 2 \cdot K_v = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ m/hari}$$

$$K_v = 1,3 \text{ m/hari}$$

Durasi hujan ( $t_c$ ):

$$t_c = \frac{0,9 \cdot R^{0,92}}{60} = \frac{0,9 \cdot 116,347^{0,92}}{60} = 71,571 \text{ menit} \\ = 1,193 \text{ jam}$$

Direncanakan dinding tidak kedap, jadi digunakan  $K_{rata-rata}$

$$A_{total} = \text{luas dinding sumur} + \text{luas alas sumur}$$

$$A_{total} = \pi D H + \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_{total} = \pi \cdot 1,2 \cdot 3 + \frac{1}{4} \pi \cdot 1,2^2$$

$$A_{total} = 12,441 \text{ m}^2$$

$$K_{rata-rata} = \frac{K_v \cdot A_h + K_h \cdot A_v}{A_{total}}$$

$$K_{rata-rata} = \frac{1,3 \cdot 1,131 + 2,6 \cdot 11,31}{12,441}$$

$$K_{rata-rata} = 2,482 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$$

Air hujan meresap selama hujan dengan  $t_c = 1,193$  jam

$$V_{rsp} = \frac{t_e}{R} \cdot A_{total} \cdot K$$

$$V_{rsp} = \frac{1,193}{116,347} \cdot 12,441 \cdot 2,482$$

$$V_{rsp} = 1,535 \text{ m}^3$$

$$V_{storasi} = V_{ab} - V_{rsp}$$

$$V_{storasi} = 298.230,6 - 1,535$$

$$V_{storasi} = 298.229,1 \text{ m}^3$$

Maka,

$$H_{total} = \frac{V_{ab} - V_{rsp}}{A_h}$$

$$H_{total} = \frac{298.229,1}{1,131}$$

$$H_{\text{total}} = 263.692,43 \text{ m}$$

$$n = \frac{263692,43}{3}$$

$$n = 87.897,667 = 87.898 \text{ buah}$$

Dari hasil analisis di atas, didapat bahwa untuk sub DAS 1, dengan  $H_{\text{rencana}}$  3 meter, diperlukan sumur resapan sebanyak 87.898 buah. Selanjutnya, untuk setiap sub DAS wilayah studi akan dianalisis dengan cara yang sama seperti yang telah dipaparkan di atas, adapun hasil analisisnya tersaji pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Jumlah Sumur Resapan untuk setiap Sub DAS Wilayah Studi

| No | Deskripsi | Luas Bidang Tadah (m <sup>2</sup> ) | Jenis Tanah            | Jumlah Resapan yang diperlukan (unit) |
|----|-----------|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1  | Sub DAS 1 | 3.331.106                           | campuran pasir-lempung | 87.898                                |
| 2  | Sub DAS 2 | 3.943.426                           | campuran pasir-lempung | 104.055                               |
| 3  | Sub DAS 3 | 6.057.397                           | campuran pasir-lempung | 159.836                               |
| 4  | Sub DAS 4 | 7.789.430                           | campuran pasir-lempung | 205.539                               |
| 5  | Sub DAS 5 | 5.410.658                           | campuran pasir-lempung | 142.771                               |

Selanjutnya, untuk menganalisis tingkat efektivitas sumur resapan akan dianalisis berdasarkan persentase reduksi yang diberikan oleh sumur resapan terhadap puncak debit banjir dan puncak volume limpasan banjir tertinggi yaitu pada hilir DAS Badung di *junction* 5. Hal ini didasarkan atas tujuan untuk melihat hasil reduksi yang didapat apabila sumur resapan ini dibangun hanya pada beberapa sub DAS.

Berikut adalah nilai penurunan debit oleh sumur resapan apabila diterapkan pada wilayah sub DAS 1 dengan mengacu pada analisis sebagai berikut:

Laju infiltrasi sumur resapan

$$K = 1,3 \text{ m/hari} = 1,505.10^{-5} \text{ m/detik}$$

$$r_w = 0,6 \text{ m}$$

$$L_w = 3 \text{ m}$$

$$Q = \frac{2\pi * 1,505.10^{-5} * 3^2}{\ln\left(\frac{2 * 3}{0,6}\right) - 1}$$

$$Q = 0,0006532 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Laju infiltrasi yang diakibatkan oleh sumur resapan:

$$Q_t = Q * \text{jumlah total sumur}$$

$$Q = 0,0006532 * 87.898$$

$$Q = 57,41 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Persentase efektivitas sumur resapan dianalisis dengan membandingkan debit sumur dengan nilai puncak banjir 264,80 m<sup>3</sup>/detik .

$$\% \text{ Efektivitas sumur} = \frac{57,41}{264,80} * 100 \%$$

$$\% \text{ Efektivitas sumur} = 21,68 \%$$

Dengan mengacu pada alur analisis yang sama seperti yang telah dipaparkan di atas, didapat adanya penurunan debit banjir pada setiap sub DAS yang diukur berdasarkan nilai efektivitasnya seperti pada **Tabel 5** dengan nilai penurunan debit banjir tertinggi terjadi pada Sub DAS 4 dengan efektivitas 50,70%.

**Tabel 5.** Efektivitas Penurunan Debit Banjir oleh Sumur Resapan untuk Setiap Sub DAS Wilayah Studi

| Deskripsi | Luas Bidang Tadah (km <sup>2</sup> ) | Jumlah Sumur (buah) | Q Sumur (m <sup>3</sup> /s) | Jumlah total Q sumur (m <sup>3</sup> /s) | Q Banjir Kala Ulang 50 thn (m <sup>3</sup> /s) | Efektifitas Sumur Resapan (%) |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------|--|--|-------------------------------|
| Sub DAS 1 | 3,331                                | 87.898              | 0,000653                    | 57,41                                    | 264,80   | 21,68%                        |
| Sub DAS 2 | 3,943                                | 104.055             | 0,000653                    | 67,97                                    | 264,80   | 25,67%                        |
| Sub DAS 3 | 6,057                                | 159.836             | 0,000653                    | 104,41                                   | 264,80   | 39,43%                        |
| Sub DAS 4 | 7,789                                | 205.539             | 0,000653                    | 134,26                                   | 264,80   | 50,70%                        |
| Sub DAS 5 | 5,411                                | 142.771             | 0,000653                    | 93,26                                    | 264,80   | 35,22%                        |

Selain adanya reduksi terhadap debit banjir, dengan alur analisis yang sama. Analisis hitung volume limpasan yang diperoleh dengan penjumlahan dari perkalian antara ordinat hidrograf satuan dengan interval waktu hidrograf [18].

$$V = (T_t - T_{t-1})x(Q_t + Q_{t-1})x0,5x60x60$$

Namun, sebelumnya akan dianalisis persentase reduksi yang diberikan oleh sumur resapan terhadap volume limpasan banjir. Adapun nilai penurunan volume limpasan



akibat sumur resapan pada Sub DAS 1 adalah sebagai berikut:

Volume sumur resapan

$$d = 1,2 \text{ m}$$

$$t = 3 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{4} * \pi * d^2 * t$$

$$V = \frac{1}{4} * \pi * 1,2^2 * 3$$

$$V = 3,393 \text{ m}^3$$

volume reduksi yang diakibatkan oleh sumur resapan adalah:

$$V_t = V * \text{jumlah total sumur}$$

$$V_t = 3,393 * 87.898$$

$$V_t = 298.229,76 \text{ m}^3$$

Persentase efektivitas sumur resapan dianalisis dengan membandingkan volume sumur dengan nilai volume puncak banjir 264,80 m<sup>3</sup>/detik .

$$V = (T_t - T_{t-1})x(Q_t + Q_{t-1})x0,5x60x60$$

$$V = (3 - 2)x(264,80 + 258,1)x0,5x60x60$$

$$V = 941.220 \text{ m}^3$$

$$\% \text{ Efektivitas sumur} = \frac{298.229,76}{941.220} * 100 \%$$

$$\% \text{ Efektivitas sumur} = 31,69 \%$$

Dengan mengacu pada alur analisis yang sama seperti yang telah dipaparkan di atas, didapat adanya penurunan volume banjir yang diakibatkan oleh dibangunnya sumur resapan, sama halnya dengan debit, pada perhitungan reduksi volume juga berdasarkan efektivitas seperti yang terlihat pada **Tabel 6** dengan penurunan volume banjir tertinggi senilai 74,09% terjadi pada Sub DAS 4.

**Tabel 6.** Efektivitas Penurunan Volume Banjir oleh Sumur Resapan untuk setiap sub DAS Wilayah Studi

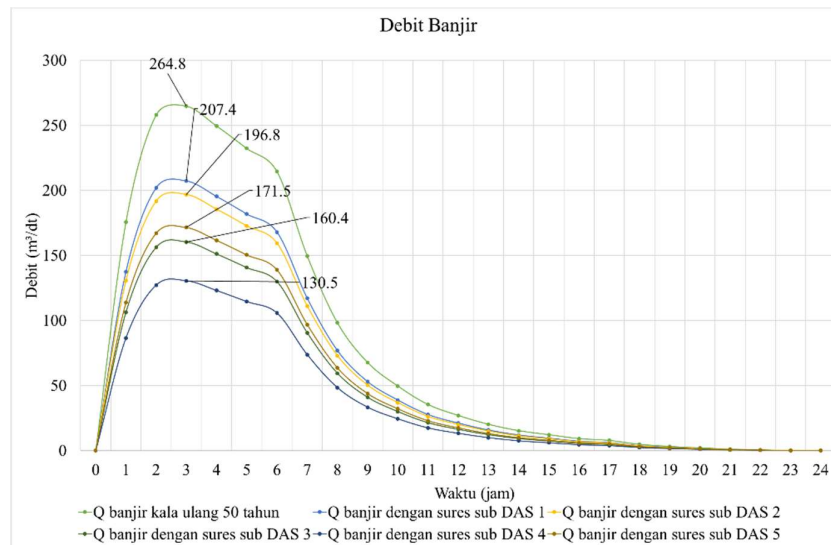
| Deskripsi | Luas Bidang Tadah<br>(km <sup>2</sup> ) | Jumlah Sumur<br>(buah) | V Sumur<br>(m <sup>3</sup> ) | Jumlah total V sumur<br>(m <sup>3</sup> ) | V Banjir Kala Ulang 50 thn<br>(m <sup>3</sup> ) | Efektifitas Sumur Resapan<br>(%) |
|-----------|---|------------------------|------------------------------|---|---|----------------------------------|
| Sub DAS 1 | 3,331                                   | 87.898                 | 3,393                        | 298.229,76                                | 941.220,00                                      | 31,69%                           |
| Sub DAS 2 | 3,943                                   | 104.055                | 3,393                        | 353.050,30                                | 941.220,00                                      | 37,51%                           |
| Sub DAS 3 | 6,057                                   | 159.836                | 3,393                        | 542.311,90                                | 941.220,00                                      | 57,62%                           |
| Sub DAS 4 | 7,789                                   | 205.539                | 3,393                        | 697.378,53                                | 941.220,00                                      | 74,09%                           |
| Sub DAS 5 | 5,411                                   | 142.771                | 3,393                        | 484.409,46                                | 941.220,00                                      | 51,47%                           |

Setelah diketahui efektivitas sumur resapan terhadap debit dan volume limpasan banjir. Selanjutnya, untuk mengetahui seberapa besar penurunan hidrograf banjir dan hidrograf volume limpasan banjir, dilakukan analisis dengan cara mengalikan debit dan volume limpasan banjir dengan persentase efektivitas sumur resapan pada setiap sub DAS. Hasil analisis untuk hidrograf debit banjir disajikan pada **Gambar 6** sedangkan untuk hidrograf volume banjir dapat dilihat pada **Gambar 7**.

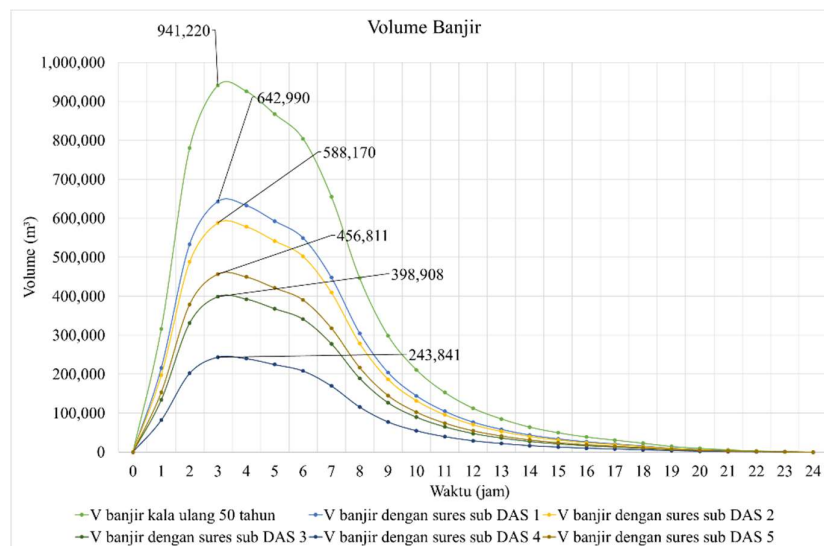
#### 4. Simpulan

Analisis pemodelan sumur resapan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) telah berhasil membagi wilayah studi menjadi 5 sub DAS yang memiliki efektivitas penurunan banjir yang tinggi. Berdasarkan analisis, hasil debit puncak banjir kala ulang 50 tahun dengan nilai 264,80 m<sup>3</sup>/detik dapat menurunkan debit banjir sampai

50,70%, sedangkan penurunan volume limpasan banjir mencapai 74,09%. Dilihat dari potensi efektivitas yang berada pada persentase di atas 50%, maka penelitian ini dapat dijadikan referensi sebagai salah satu bentuk penerapan konservasi sumber daya air dalam upaya penurunan risiko bencana banjir di Kota Denpasar. Hasil akurasi dalam perhitungan sumur resapan khususnya pada kalibrasi model perlu dilakukan penelitian lanjutan agar parameter-parameter yang dimodelkan mendekati kondisi yang sebenarnya. Perlu kajian yang lebih komprehensif tentang pemodelan sumur resapan pada wilayah yang lebih kecil sehingga dapat menghasilkan angka pasti jumlah sumur resapan yang dibangun serta dapat menganalisis lebih dalam tentang nilai koefisien permeabilitas yang realtif sangat kecil yang pada waktu tertentu akan mengalami jenuh (*saturated*), sehingga nilai tingkat efektivitas sumur resapan dapat menghasilkan data yang lebih akurat.



**Gambar 6.** Hidrograf Debit Banjir Dengan Sumur Resapan untuk Setiap Sub DAS Wilayah Studi



**Gambar 7.** Hidrograf Volume Banjir Dengan Sumur Resapan untuk Setiap Sub DAS Wilayah Studi

#### Daftar Pustaka

- [1] I. P. G. S. Pariartha, "Optimisation of Climate Change Adaptation for Urban Stormwater Management," (thesis). Queensland University of Technology, 2019.
- [2] A. P. Raharjo, "Simulasi Pengurangan Limpasan Permukaan Menggunakan Sistem Pemanenan Air Hujan Sederhana di Kawasan Penyangga Perkotaan," *J. Alami*, vol. 3, no. 1, pp. 7–11, 2019.
- [3] I. P. Sidauruk, "Analisis Simpanan Air Pada Berbagai Metode Pemanenan Air Hujan di Sistem Agroforestri Kopi Desa Sumbermanjing Wetan," (thesis). Universitas Brawijaya, 2019.
- [4] Menteri Negara Lingkungan Hidup, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009 tentang Pemanfaatan Air Hujan*. 2009.
- [5] Badan Pusat Statistik Kota Denpasar, *Kota Denpasar dalam Angka*. Denpasar: BPS Kota Denpasar, 2019.
- [6] N. I. Komang, R. Ratna, I. W. Nuarsa, and I. W. S. Adnyana, "Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Kajian Banjir di Kota Denpasar," *E-Jurnal Agroetnologi Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 134–142, 2017.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan

- Rakyat, *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bali-Penida*. Jakarta, 2017.
- [8] Walikota Denpasar, “Peraturan Daerah Kota Denpasar nomor 27 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Denpasar TAHUN 2011 - 2031,” 2011.
- [9] I. G. K. Purnaya, I. Made, and T. Semara, “Implementasi Kebijakan Pemerintah Terhadap Penataan Sungai Badung dalam Upaya Pengembangan Pariwisata di Kota Denpasar,” vol. 8, no. 2, pp. 1–10, 2018.
- [10] N. F. Januriyadi, R. C. Pamungkas, F. Amru, and N. Fadhillah, “Kajian Efektivitas Sumur Resapan dalam Mengurangi Resiko Bencana Banjir di Kota Jakarta,” in *Seminar Nasional Teknik Sipil 3*, 2019, pp. 1–7.
- [11] F. A. O. Asmawati, “Design of Recharge Well as One of Flood Control,” *J. Inersia*, vol. VI, no. 2, pp. 43–54, 2015.
- [12] N. Erstayudha, P. Hadi, and S. Suprayogi, “Model Pemanenan Air Hujan (Rainwater Harvesting) untuk Mengurangi Dampak Bencana Banjir di DAS Penguluran, Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang,” no. September, 2016, doi: 10.13140/RG.2.2.21587.58406.
- [13] P. D. Raharjo, “Teknik Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Identifikasi Potensi Kekeringan,” *MAKARA Technol. Ser.*, vol. 14, no. 2, pp. 97–105, 2011, doi: 10.7454/mst.v14i2.700.
- [14] W. Lucky, “Kajian Daerah Potensi Rawan Kekeringan Kabupaten Lampung Tengah dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis,” (skripsi). Lampung: Universitas Lampung, 2020.
- [15] Hartono, B. S. Materay, N. M. Farda, and M. Kamal, “Kajian ekosistem air permukaan rawa biru – torasi merauke papua menggunakan citra penginderaan jauh dan SIG,” pp. 1–12, 2006.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2453-2002 - Tata Cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Pekarangan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2002.
- [17] Walikota Denpasar, “Peraturan Walikota Denpasar No 18 Tahun 2010 tentang Pemanfaatan Air Hujan,” 2010.
- [18] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [19] Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, *Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Mitigasi Bencana*. Bogor: Crestpent Press, 2014.
- [20] T. H. Pamungkas, “Pemodelan Sumur Resapan Sebagai Upaya Penurunan Risiko Banjir Kota Denpasar dengan Aplikasi Remote Sensing pada DAS Tukad Badung,” Universitas Udayana, 2020.
- [21] Indarto, *Hidrologi: Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai*, Edisi Pert. Jakarta: Bumi Aksara, 2016.
- [22] H. Duppa, “Sumur Resapan Untuk Mengurangi Genangan Air dan Banjir,” *Sci. Pinisi*, vol. 3, no. April, pp. 48–55, 2017.
- [23] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2415:2016 - Tata cara perhitungan debit banjir rencana*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [24] L. Agustini, “Pengelolaan Tata Guna Lahan Sebagai Penanganan Banjir DAS Kemoning, Kabupaten Sampang,” (tesis). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [25] F. Approved and O. M. B. No, “Hydrologic Modeling System Applications Guide,” no. March, 2015.

Halaman ini sengaja dikosongkan