



PEMERINTAH KOTA DENPASAR
BADAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN DAERAH

Jalan Maruti No. 8 Denpasar Kode Pos 80115 Telepon (0361)413357

LAPORAN

AKHIR

PEKERJAAN :

**IDENTIFIKASI PERMASALAHAN
DRAINASE DI KAWASAN BUMI AYU
KOTA DENPASAR**

2023



POLITEKNIK NEGERI BALI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI

**Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan,
Kabupaten Badung, Bali-80364**

Telp. (0361) 701981 (Hunting) Fax. 701128

Laman : www.pnb.ac.id, Email : poltek@pnb.ac.id

KATA PENGANTAR

Fuji syukur kami panjtkan kehadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa (Tuhan Yang Maha Esa) karena berkat rahmatnya laporan Penyusunan Dokumen Identifikasi Permasalahan Drainase di Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali dapat kami selesaikan dengan baik sesuai dengan rencana.

Penyusunan Dokumen Identifikasi Permasalahan Drainase Kawasan Bumi Ayu tahun 2023 ini disusun berdasarkan hasil survey, observasi dan analisis berkaitan dengan terjadinya banjir. Permasalahan Drainase di Kawasan Bumi Ayu ini berisi tentang tentang permasalahan drainase existing mulai dari data curah hujan, potensi infiltrasi, debit banjir, kondisi dan kapasitas saluran existing, sampai dengan metode penanganan banjir. Kegiatan ini terutama bertujuan untuk menyusun dokumen identifikasi permasalahan drainase digunakan sebagai dasar untuk membuat kebijakan penanganan banjir secara menyeluruh dan berkelanjutan di Kawasan Jalan Bumi Ayu Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali.

Semoga laporan Penyusunan Dokumen Identifikasi Permasalahan Drainase di Kawasan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Denpasar Selatan, Provinsi Bali ini dapat memberikan manfaat maksimal bagi instansi atau pihak lain yang berkepentingan dalam penyelesaian masalah banjir di kawasan tersebut.

Jimbaran, Desember 2023

Team Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman judul.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Daftar Isi.....	iii
Daftar Gambar.....	iv
Daftar Tabel.....	v
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	4
1.3. Target/Sasaran	4
1.4. Refrensi Hukum.....	4
1.5. Lingkup Kegiatan.....	5
 BAB II GAMBARAN UMUM KAWASAN STUDI,,,,,,,,,,,,,	 6
2.1. Gambaran Umum Lokasi Studi.....	6
2.2. Titik-Titik Rawan Banjir.....	7
2.3. Aspek Fisisk.....	8
2.4. Permasalahan Umum Drainase.....	9
 BAB III PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS.....	 12
3.1. Data Curah Hujan.....	12
3.2. Data Saluran Existing.....	14
3.3. Data Infiltrasi.....	15
3.4. Analisis.....	25
3.4.1. Analisis Data Curah Hujan.....	25
3.4.2. Uji Konsistensi Data Curah Hujan.....	27
3.4.3. Analisis Potensi Infiltrasi.....	47
3.4.4. Analisis Kapasitas Saluran.....	49
3.4.5. Analisis Penanganan Banjir.....	56
 BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	 64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	66
 DAFTAR PUSTAKA.....	 67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Banjir 12-2-2023.....	1
Gambar 1.2. Beberapa Kerusakan Jalan Akibat Banjir	2
Gambar 1.3. Aliran Alamiah Kawasan Bumi Ayu.....	2
Gambar 1.4. Kondisi Saluran di Jalan Bumi Ayu.....	3
Gambar 1.5. Beberapa Kejadian Banjir di Kawasan Bumi Ayu.....	3
Gambar 2.1. Peta Kota Denpasar.....	6
Gambar 2.2. Titik-titik Rawan Banjir di Kawasan Bumi Ayu.....	7
Gambar 2.3. Wawancara Dengan Warga dan Kaling Batu Jimbar.....	8
Gambar 3.1. Lay Out Saluran Existing.....	14
Gambar 3.2. Observasi dan Pengukuran Dimensi Saluran.....	15
Gambar 3.3. Diskusi Lapangan Untuk Menentukan Lokasi Boring.....	16
Gambar 3.4. Lokasi Boring.....	16
Gambar 3.5. Hasil Ploting Lokasi Boring.....	17
Gambar 3.6. Pelaksanaan Boring.....	18
Gambar 3.7. Data Tanah (Core Box).....	19
Gambar 3.8. Data Bore Log.....	20
Gambar 3.9. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 1.....	24
Gambar 3.10. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 2.....	24
Gambar 3.11. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 3.....	25
Gambar 3.12. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Tertutup Jalan Bumi Ayu...	51
Gambar 3.13. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu	52
Gambar 3.14. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu Tengah....	52
Gambar 3.15. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu Hilir 1.....	52
Gambar 3.16. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu Hilir 2.....	53
Gambar 3.17. Kemiringan Dasar Saluran (S).....	55
Gambar 3.18. Grafik IDF.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Curah Hujan Sta. Ngurah Rai, Sanglah dan Sumerta.....	12
Tabel 3.2. Uji Infiltrasi Lapangan 1.....	21
Tabel 3.3. Uji Infiltrasi Lapangan 2.....	22
Tabel 3.4. Uji Infiltrasi Lapangan 3.....	23
Tabel 3.5. Curah Hujan Wilayah.....	27
Tabel 3.6. Uji Outlier Sta Sumerta.....	29
Tabel 3.7. Uji Outlierr Sta Sanglah.....	30
Tabel 3.8. Uji Outlier Sta Ngurah Rai.....	32
Tabel 3.9. Uji RAPS Sta Sumerta.....	35
Tabel 3.10. Uji RAPS Sta Sanglah.....	37
Tabel 3.11. Uji RAPS Sta Ngurah Rai.....	39
Tabel 3.12. Uji Distribusi Curah Hujan Sta Sumerta.....	41
Tabel 3.13. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekwensi Sta Sumerta.....	42
Tabel 3.14. Uji Distribusi Curah Hujan Sta Sanglah.....	43
Tabel 3.15. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekwensi Sta Sanglah.....	44
Tabel 3.16. Uji Distribusi Curah Hujan Sta Ngurah Rai.....	45
Tabel 3.17. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekwensi Sta Ngurah Rai.....	46
Tabel 3.18. Curah Hujan Wilayah Kawasan Bumi Ayu.....	47
Tabel 3.19. Penentuan Koefisien Kekasaran Manning (n) DPURI 1990.....	50
Tabel 3.20. Penentuan Koefisien Kekasaran Manning (n) Chow 1959.....	50
Tabel 3.21. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Saluran (hr).....	53
Tabel 3.22. Hubungan hr Dengan n Refrensi DPURI 1990.....	54
Tabel 3.23. Hubungan hr Dengan n Refrensi Chow 1959.....	54
Tabel 3.24. Waktu Konsentrasi dan Periode Ulang Banjir.....	58
Tabel 3.25. Kala Ulang Berdasarkan Tipologi Kota dan Luas Pengaliran.....	60
Tabel 3.26. Tahun Periode Ulang.....	60
Tabel 3.27. Waktu Konsentrasi.....	61



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali, merupakan salah satu kawasan penting penyokong kepariwisataan di Kota Denpasar, khususnya untuk Kawasan Wisata Sanur, Benoa, Kuta, Nusa Dua dan sekitarnya. Di kawasan ini terdapat berberapa fasilitas seperti: villa, hotel, restaurant dan tempat tinggal warga sanur dan juga warga expatriat.

Banjir adalah merupakan salah satu masalah yang paling mengganggu kehidupan sosial pada kawasan ini. Hampir setiap tahun kawasan ini dilanda banjir yang cukup parah. Salah satu banjir parah yang terjadi terakhir ini adalah banjir pada tanggal 14 Februari 2023, seperti tersaji pada Gambar 1.1. (diambil dari snaping medsos google). Pada Gambar 1.1. terlihat bahwa pada tanggal 14 Februari 2023 terjadi banjir di kawasan Jalan Bumi Ayu, dengan korbannya adalah warga expatriat yang bermukim di dalam kawasan tersebut.



Gambar 1.1. Banjir 14-2-2023 (youtube, 2023).

Banjir yang selalu terjadi pada setiap musim penghujan, di dalam kawasan ini telah menimbulkan kerugian harta benda, penurunan kesehatan dan kerusakan fasilitas umum. Kerugian harta benda seperti terendamnya perabotan rumah tangga, alat-alat elektronik, furniture dan lain-lain. Penurunan kesehatan terutama akibat penurunan imun tubuh dan keluhan kesehatan yang banyak dikeluhkan adalah gatal-gatal, demam dan pegal, (Pusat Pemberitaan RRI, 2022). Gambar 1.2. menunjukkan beberapa kerusakan pada perkerasan jalan Bumi Ayu, yaitu terkelupasnya perkerasan jalan, timbulnya lubang atau legokan pada permukaan jalan, yang bila hujan menjadi

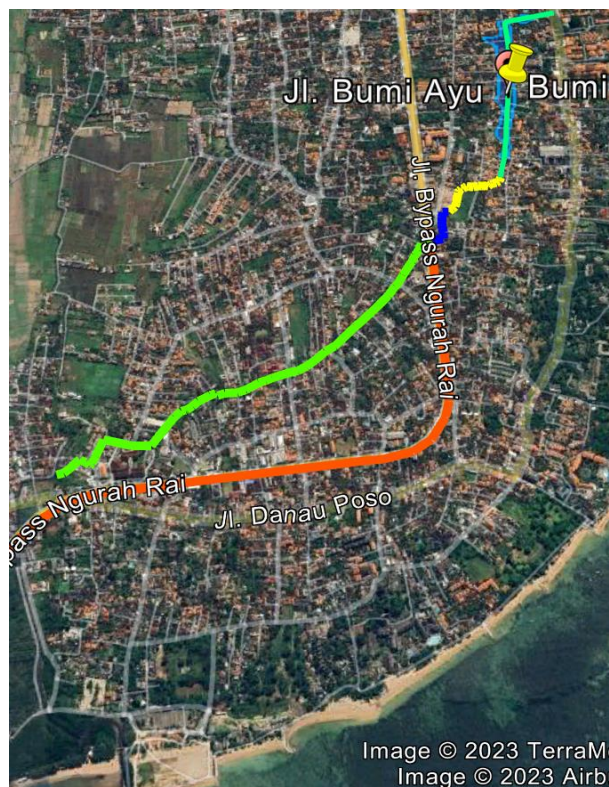


genangan yang dapat menipu pandangan sehingga menyancam keselamatan dan keamanan pengguna jalan. Pada saat tidak hujan, permukaan jalan yang terkelupas akan membuat jalan menjadi licin dan berdebu serta dapat menyebabkan pengendara sepeda motor tergelincir dan jatuh.



Gambar 1.2. Beberapa Kerusakan Jalan Akibat Banjir (hasil observasi 2023)

Aliran alamiah air hujan pada kawasan ini adalah melalui Jalan Bumi Ayu. Jejak-jejak aliran alamiah tersebut dapat ditelusuri pada Peta Google Earth seperti tersaji pada Gambar 1.3. Pada Gambar 3.1. Terlihat bahwa aliran alamiah air hujan yang jatuh pada *Chatment Area* kawasan ini mengalir disepanjang jalan Bumi Ayu dan selanjutnya melewati Jalan By Pass Ngurah Rai menuju Tukad Loloan dan bermuara di Pantai Pengembak Sanur.



Gambar 1.3. Aliran Alamiah Kawasan Bumi Ayu (interpretasi peta Googel 2023).



Secara topografi kawasan ini merupakan daerah cekungan dengan kemiringan yang relatif sangat kecil. Sehingga aliran air hujan menjadi sangat lambat dan adanya kerusakan saluran yang cukup parah, seperti tersaji dalam Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Kondisi Saluran di Jalan Bumi Ayu (hasil obsevasi 2023).

Dengan kondisi drainase seperti Gambar 1.4 maka tidaklah mengherankan jika pada kawasan studi sangat rawan banjir seperti pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Beberapa Kejadian Banjir di Kawasan Bumi Ayu (Dinas PU Kota Denpasar) tahun 2018



1.2. Maksud dan Tujuan.

Maksud dari kegiatan ini adalah untuk memperoleh hasil analisis yang valid tentang kondisi dan kapasitas saluran existing, data curah hujan, debit banjir, analisis potensi infiltrasi (kemungkinan penerapan drainase vertikal) dan mendapat gambaran/alternatif penanganan banjir. Tujuan dari pekerjaan ini adalah tersedianya Dokumen Identifikasi Permasalahan Drainase di Bumi Ayu berbasis data dan hasil analisis yang valid.

1.3. Target/Sasaran.

Target/sasaran yang ingin dicapai dalam pekerjaan ini adalah tersedianya Dokumen Identifikasi Permasalahan Drainase di Bumi Ayu yaitu berupa data dan analisis yang valid.

1.4. Refresi Hukum

Refrensi hukum yang mendasari kegiatan Identifikasi Permasalahan Drainase pada Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali, ini adalah:

1. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2018 Tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.
2. Peraturan Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/jasa pemerintah republik indonesia Nomor 3 tahun 2021 Tentang Pedoman Swakela.
3. Peraturan Walikota Denpasar Nomor 33 Tahun 2023 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Walikota Nomor 9 Tahun 2022 Tentang Standar Biaya Jasa Tahun Anggaran 2023.
4. Peraturan Walikota Nomor 54 Tahun 2022 tentang Penjabaran Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah Tahun Anggaran 2023 (Berita Daerah Kota Denpasar Tahun 2022 Nomor 54) sebagaimana telah diubah beberapa kali, dengan Peraturan Walikota Nomor 51 Tahun 2023 tentang Perubahan Kelima Atas Peraturan Walikota Nomor 54 Tahun 2022 tentang Penjabaran Anggaran



Pendapatan dan Belanja Daerah Tahun 2023 (Berita Daerah Kota Denpasar Tahun 2023 Nomor 51);

1.5. Lingkup Kegiatan.

Lingkup kegiatan yang akan dilaksanakan dalam Identifikasi Permasalahan Drainase di Kawasan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kota, Denpasar Selatan, Provinsi Bali Kota Denpasar ini antara lain:

1. Pekerjaan Persiapan.
 - a. Mobilisasi tenaga ahli (team ahli).
 - b. Melakukan diskusi dan konsultasi awal.
2. Pengumpulan data dan analisis data
 - a. Analisi data curah hujan.
 - b. Analisis kapasitas saluran existing
 - c. Analisis potensi infiltrasi
 - d. Analisis banjir
 - e. Analisis penanganan banjir
3. Rapat Pembahasan dan Pelaporan Pekerjaan\
4. Mengundang Perangkat Daerah terkait untuk mendapat informasi, masukan dan saran hasil rapat Pembahasan sehingga dapat dituangkan dalam laporan.
5. Penyerahan Laporan Akhir dan Soft Copy.

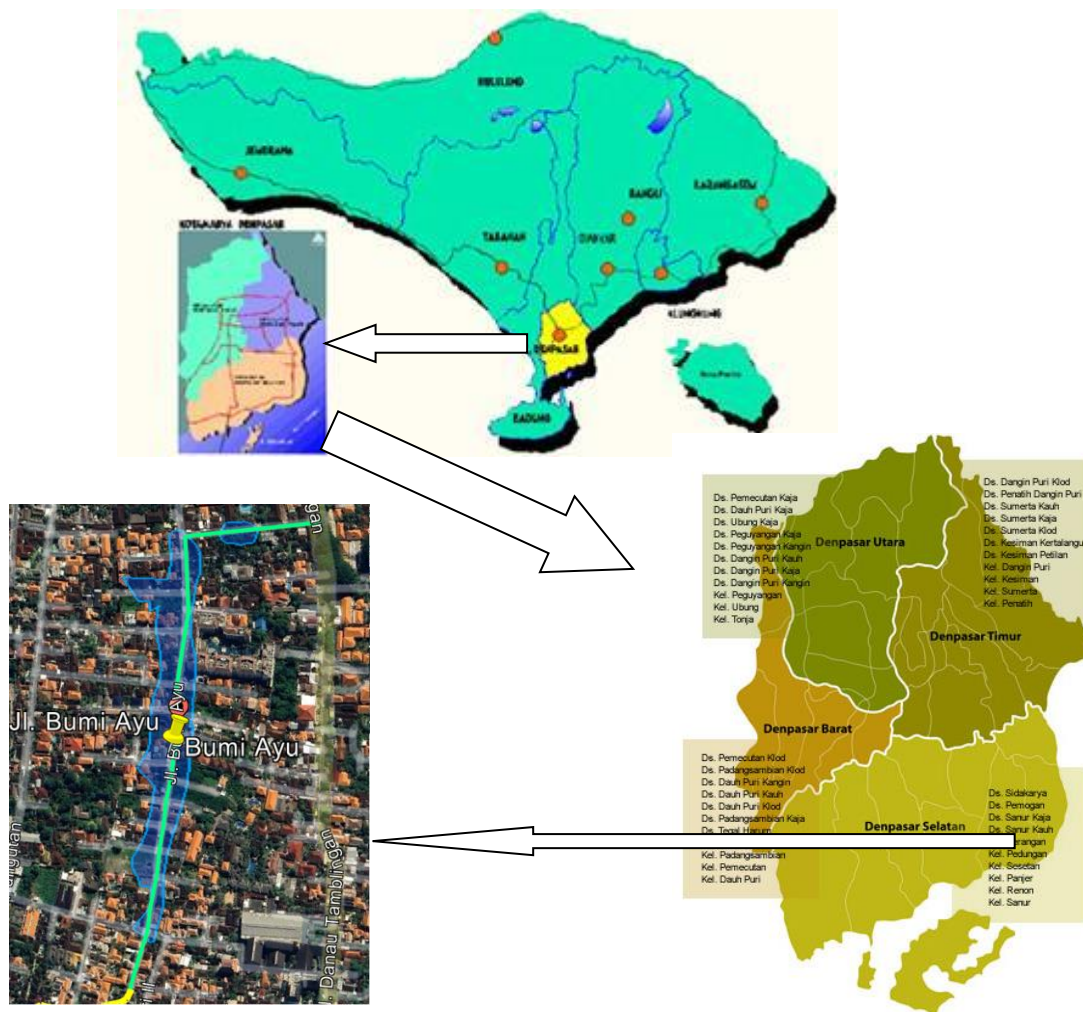


BAB II

GAMBARAN UMUM KAWASAN STUDI

2.1. Gambaran Umum Lokasi Studi

Kawasan Bumi Ayu terletak di Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Terdapat dua jalan utama menuju ke kawasan ini yaitu Jalan By Pass Ngurah Rai dan Jalan Danau Tamblingan. Jalan Danau Tamblingan tidak dapat dilalui kendaraan berat kecuali dalam kondisi khusus sedangkan jalan By Pass Ngurah Rai merupakan Jalan Nasional. Kawasan Bumi Ayu adalah merupakan jalan kabupaten yang relatif sangat sempit.



Gambar 2.1. Peta Kota Denpasar



2.2. Titik-Titik Rawan Banjir

Beberapa titik rawan banjir pada Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar Provinsi Bali seperti tersaji pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Titik-Titik Rawan Banjir di Kawasan Bumi Ayu.

Pada Gambar 2.2. terlihat sekurang-kurangnya 4 (empat) titik yang sangat rawan banjir dan bahkan jika hujan berlangsung lebih dari 1 jam semua kawasan menjadi terendam banjir.



Gambar 2.3. Wawancara Dengan Warga dan Kaling Batu Jimbar.

2.3. Aspek Fisik

Aspek fisik adalah untuk menggambarkan kondisi umum kawasan studi, berkaitan dengan permasalahan drainase dan banjir yang dihadapi setiap musim hujan. Aspek fisik yang berkaitan dengan kondisi drainase dan banjir di Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali terdiri dari kondisi topografi, klimatologi, kondisi jalan dan tata guna lahan.

1. Kondisi topografi

Topografi khususnya kemiringan lahan sangat terkait dengan terjadinya banjir, mulai dari reduksi limpasan permukaan sampai dengan kapasitas drainase. Topografi yang datar disatu sisi memungkinkan air hujan untuk meresap kedalam tanah sehingga mengurangi limpasan permukaan (surface run off) tetapi juga mengakibatkan aliran air secara gravitasi menjadi lebih lambat sehingga mengurangi kapasitas saluran. Secara topografi kawasan ini merupakan kawasan yang sangat datar, sehingga tersedia waktu yang cukup terjadinya resapan air hujan ke dalam tanah namun demikian kemiringan permukaan tanah yang sangat



kecil ini juga menghambat aliran air masuk dalam saluran. Sehingga jika tanahnya tidak cukup porous maka peluang terjadinya banjir semakin meningkat. Sakeng datarnya tpografi pada kawasan ini sampai tidak tergambar dalam peta topografi yang ada karena beda tingginya kurang dari 5 meter.

2. Kondisi geologi

Berdasarkan peta geologi Purwo Hadiwidjoyo (1998) lembar Bali, Nusatenggara dinyatakan bahwa wilayah Bali tersusun atas berbagai batuan produk gunung api. Sementara endapan permukaan hanya terdapat di daerah pesisir. Kota Denpasar dapat dikategorikan merupakan endapan aluvium (Qa) berupa kerakal, kerikil, pasir, lanau dan lempung. Hasil observasi di lapangan menunjukkan bahwa kondisi tanah tersebut menyebabkan lamanya genangan yang terjadi akibat hujan di kawasan ini rata-rata melebihi 3 jam (hasil wawancara dengan warga dan Dinas PU Kota Denpasar).

3. Klimatologi

Secara iklim Kota Denpasar merupakan daerah yang beriklim tropis dengan 2 (dua) musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Rata-rata musim hujan dimulai pada bulan Oktober/November dan berakhir pada bulan Maret/April tiap tahunnya, dan puncaknya pada bulan Januari/Februari. (dari kumpulan data hujan tahunan MBKG Wilayah III, Denpasar).

4. Kondisi Jalan

Secara umum kondisi jalan pada kawasan studi cukup baik namun relatif sempit dan di beberapa tempat mengalami bopeng akibat terjadinya banjir. Secara status Jalan Bumi Ayu termasuk dalam jaringan lingkungan.

2.4. Permasalahan Umum Drainase

Secara alamiah air hujan yang jatuh di permukaan tanah sebagian akan diserap oleh tanah (infiltrasi) dan sisanya akan mengalir dipermukaan tanah sebagai limpasan permukaan (surface run off). Semakin banyak air yang terserap ke dalam tanah menyebabkan semakin kecil air yang melimpas di permukaan tanah, demikian sebaliknya. Banyaknya air yang terserap ke dalam tanah dipengaruhi oleh keadaan tanah (porositas), penutupan lahan (infrastruktur, vegetasi).



Permasalahan drainase yang berkaitan dengan terjadinya banjir pada suatu kawasan secara umum adalah:

1. Curah hujan

Curah hujan yang terjadi lebih besar dari curah hujan yang direncanakan (terjadi hujan sangat ekstrem) sehingga melebihi kapasitas standar drainase yang ada (Q1, Q2, Q5, Q10, Q15 dan seterusnya sesuai dengan jenis saluran drainasenya).

2. Resapan tanah

Terjadi perubahan resapan tanah yang sangat cepat sehingga tidak terekam dalam perencanaan saluran drainase (terjadi pembangunan yang masif dalam satuan waktu yang singkat). Sehingga reduksi air hujan tidak sesuai dengan perencanaan dan menyebabkan koefisien limpasan permukaan (SROC) menjadi lebih besar dari yang diperhitungkan. Disamping itu resapan air kedalam tanah ditentukan oleh tingkat kejenuhan tanah. Tanah yang jenuh tidak dapat meresapkan air ke dalam tanah. Denpasar Selatan termasuk kawasan Bumi Ayu termasuk daerah yang tanahnya memiliki tingkat kejenuhan tinggi (Kesuma, 2020).

3. Kondisi saluran

Kondisi saluran yang ada tidak mampu menampung limpasan permukaan air hujan karena beberapa sebab, seperti:

- a. Kerusakan saluran

Kerusakan saluran dapat mengurangi luas penampang basah saluran, sehingga kemampuan saluran untuk mengalirkan air akan berkurang.

- b. Sedimentasi

Sedimentasi atau pengendapan oleh lumpur maupun sampah mengakibatkan penampang basah saluran berkurang dan juga kemiringan dasar saluran berubah, sehingga debit menjadi berubah.

- c. Ketidak sesuaian bahan dan pengerjaan saluran.

Kecepatan aliran di dalam saluran ditentukan oleh jenis bahan dan kualitas pengerjaannya (Suparta, 2018). Tiap bahan memiliki karakteristik tertentu dan dinyatakan memiliki koefisien kekasaran tertentu (Chow, (1959), DPU, (1990). Chow (1959) menyatakan bahwa tiap macam bahan memiliki 3 (tiga) macam tingkat kualitas yaitu: (1). Minimum, (2). Normal dan (3). Maksimum.



Sedangkan Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga Republik Indonesia Tahun 1990 menetapkan 4 (empat) macam/tingkat kualitas bahan yaitu: (1). Baik sekali, (2). Baik, (3). Sedang, dan (4). Jelek. Selanjutnya Suparta (2018, 2023) mendefinisikan macam/tingkat kualitas bahan berdasarkan kualitas (kekasaran) permukaan saluran menggunakan ratio antara luar permukaan basah dengan luas proyeksinya. Untuk pasangan batu beda antara macam/tingkat kualitas terendah dengan macam/tingkat kualitas tertinggi mencapai 30/15 atau dua kali untuk refrensi (Chow, 1959) dan 30/17 atau 1,76 kali (Suparta, 2018).

Tiga hal tersebut di atas (kerusakan saluran, sedimentasi dan ketidak sesuaian bahan dan pengerjaan saluran) harus diperhatikan didalam mengidentifikasi permasalahan drainase di Kawasan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kota Denpasar, Bali.

Untuk mengatasi masalah banjir pada suatu kawasan dapat dilakukan dengan cara mereduksi limpasan permukaan dan memperbesar daya tampung saluran yang ada. Untuk mereduksi limpasan air hujan dapat dilakukan dengan cara memasukan air hujan ke dalam tanah (drainase vertikal). Namun metode ini memiliki keterbatasan yaitu kemampuan dari tanah untuk menyerap air hujan. Sedangkan memperbesar kapasitas drainase dapat dilakukan dengan cara mempercepat aliran (V), dan memperbesar penampang (A). Mempercepat aliran dapat dilakukan dengan cara membuat kemiringan dasar saluran (S) yang lebih besar dan memilih material tertentu sedemikian rupa sehingga memiliki koefisien Manning (n) yang lebih kecil sehingga hambatan hidraulis pada penampang saluran menjadi lebih kecil. Memperbesar kemiringan dasar saluran (S) tidak selalu dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan hal ini sangat tergantung pada kondisi alamiah saluran existing.



BAB III

PENGUMPULAN DATA DAN ANALISIS

3.1. Data Curah Hujan

Terdapat 3 (tiga) station pencatat hujan yang bersesuaian dengan kawasan studi yaitu: (1). Station Ngurah Rai (terletak di kawasan Bandara I Gusti Ngurah Rai) dengan jarak dari Kawasan Bumi Ayu sejauh kurang lebih 12 km, (2). Station Sanglah dengan jarak dari Kawasan Bumi Ayu sejauh kurang lebih 5,6 km dan (3). Station Sumerta dengan jarak dari Kawasan Bumi Ayu sejauh kurang lebih 5,4 km. Analisa curah hujan selanjutnya menggunakan data pada tiga station pencatat hujan tersebut di atas.

Data curah hujan maksimum tahunan pada masing-masing station pencatat hujan yaitu Station Ngurah Rai, Stastion Sanglah, dan tersaji dalam Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Curah Hujan Sta Ngurah Rai, Sanglah dan Sumerta

No.	Tahun	Sta Ngurah Rai	Sta Sanglah	Sta Sumerta
1	1991	110	98,00	163,00
2	1992	199	102,00	169,00
3	1993	184	110,00	185,00
4	1994	82	60,00	159,00
5	1995	92	176,90	150,00
6	1996	192	159,60	137,00
7	1997	147	155,00	148,00
8	1998	126	77,50	93,00
9	1999	231	147,50	145,00
10	2000	139	227,80	110,00
11	2001	99	135,70	175,00
12	2002	78	80,00	129,00
13	2003	120	123,70	169,50
14	2004	142	112,10	163,00
15	2005	117	147,80	152,00
16	2006	116,8	106,00	131,00
17	2007	81,6	189,70	200,00



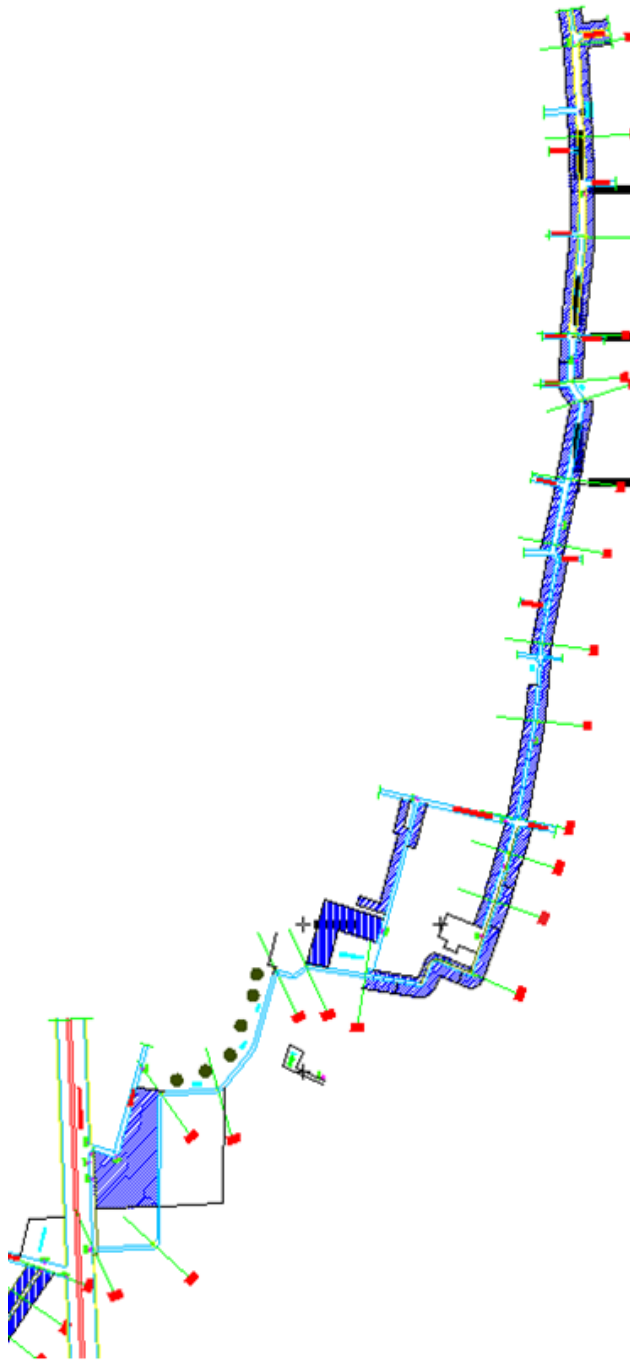
18	2008	94,9	106,00	130,00
19	2009	112	189,60	219,50
20	2010	113,7	89,00	134,70
21	2011	81	106,30	122,50
22	2012	102,1	98,90	92,90
23	2013	103,2	128,00	140,00
24	2014	107,4	91,50	119,00
25	2015	88,7	98,60	110,00
26	2016	145,60	180,00	164,00
27	2017	113,40	106,00	98,00
28	2018	85,20	138,70	194,00
29	2019	77,00	72,50	
30	2020	80,70	123,40	
31	2021	177,40	187,50	
31	2022	108,00	120,00	

Sumber: BMKG Wilayah III Denpasar



3.2. Data Kondisi Saluran Existing.

Berdasarkan hasil survey, observasi dan wawancara dengan Masyarakat setempat serta beberapa referensi diperoleh layout saluran existing seperti tersaji pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Lay Out Saluran Existing (Dinas PU Denpasar, 2020).



Lebih lanjut peneluran tentang kondisi saluran existing dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3.2. Observasi dan Pengukuran Dimensi Saluran

Dari hasil observasi, pengukuran dan wawancara dengan masyarakat setempat diperoleh data bahwa terjadinya banjir pada kawasan ini salah satu penyebabnya adalah kondisi saluran drainase yang kurang baik. Hal ini terkonfirmasi dari hasil survey kondisi lapangan.

3.3. Data Infiltrasi

Untuk mendapatkan data infiltrasi air hujan kedalam tanah yang mewakili kawasan studi dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi pengambilan sample.

Lokasi pengambilan sample sedapat mungkin adalah lokasi yang mewakili keadaan real lapangan, atau lokasi yang memungkinkan untuk membuat sumur resapan (drainase vertikal) jika diperlukan.



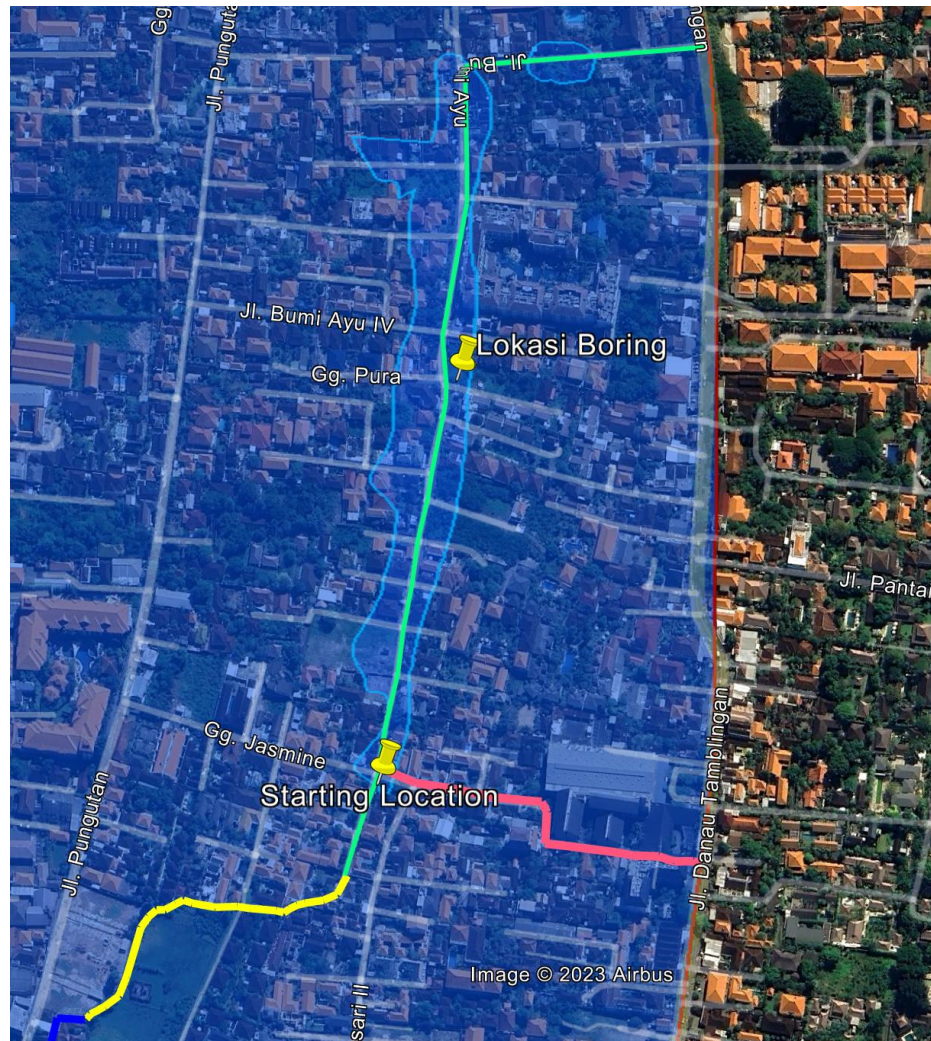
Gambar 3.3. Diskusi Lapangan Untuk Menentukan Lokasi Boring.

Dari hasil observasi dengan berbagai pertimbangan terutama berkaitan dengan kepemilikan lahan, keamanan, dan kesesuaian tempat didapat lokasi boring seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Lokasi Boring

Selanjutnya Gambar 3.4. diplot ke dalam peta Google untuk mengkonfirmasi apakah lokasi boring tersebut diatas cukup representatif sebagai lokasi boring seperti tersaji pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Hasil Ploting Lokasi Boring

Dari gambar 3.3. terlihat bahwa lokasi boring berada hampir di tengah-tengah kawasan sehingga dianggap sangat mewakili sebagai lokasi pengambilan sample infiltrasi.

2. Pengeboran.

Setelah ditentukan lokasi pengambilan sample selanjutnya dilakukan pengeboran untuk mengambil sample tanah (bore log) dan membuat lubang uji seperti tersaji pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pelaksanaan Boring

3. Pengambilan sample bore log

Untuk mengetahui kondisi lapisan tanah di bawah permukaan dilakukan boring, dan tanah hasil pengeboran dikumpulkan pada core box sesuai dengan kedalaman pengeboran, seperti tersaji pada Gambar 3.7. Selanjutnya tanah yang ada pada core box dideskripsikan seperti pada Gambar 3.8. Hasil deskripsi tersebut dipadupadankan dengan sifat-sifat tanah secara umum untuk mengkonfirmasi hasil pengujian infiltrasi secara langsung.



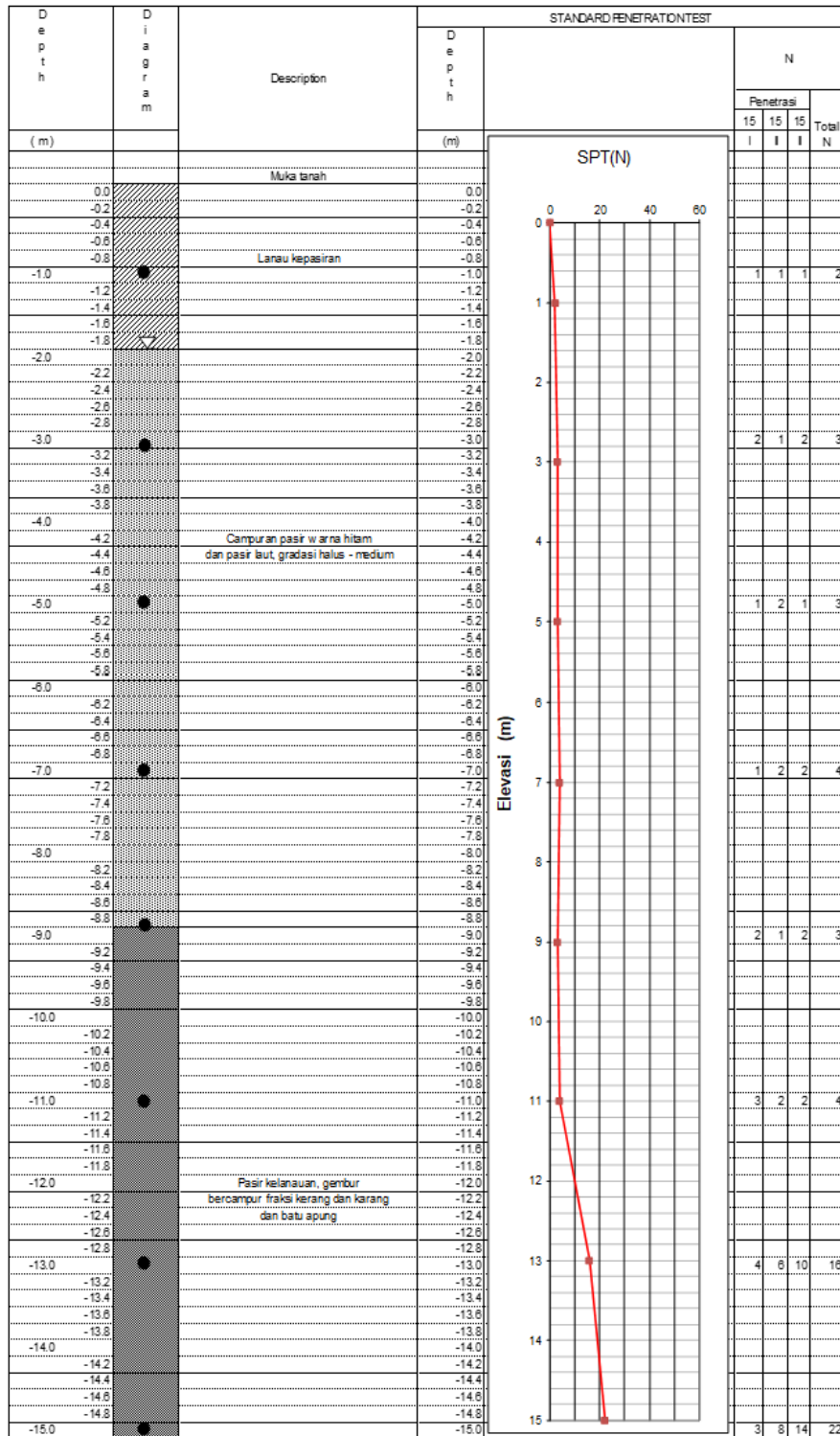
Gambar 3.7. Data Tanah (Core Box).



Proyek :
 Lokasi : Jalan Bumi Ayu II Sanur
 Dites oleh : CV SolINDO
 Tanggal : 15-Sep-23

□ Undisturb Sample (UDS)
 ● Disturb Sample (DS)
 ● SPT
 ∇ Muka air tanah

Bor 1



Gambar 3.8. Data Bor Log



Dari Gambar 3.7. dan 3.8. dapat dilihat bahwa lapisan tanah berupa tanah lanau kepasiran. Tanah lanau kepasiran sangat sulit meloloskan air karena secara teori memiliki permeabilitas tanah relatif kecil yaitu antara 10^{-4} sampai dengan 10^{-10} (modifikasi Bear, 1972 dalam Irwan, 2012).

4. Uji infiltrasi lapangan.

Untuk mengetahui besarnya infiltrasi yang sesungguhnya dilakukan uji infiltrasi lapangan sebanyak 3 (tiga) kali seperti pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. Selanjutnya kapasitas infiltrasi disajikan dalam bentuk grafik seperti tersaji pada Gambar 3.8. Gambar 3.9. dan Gambar 3.10.

Tabel 3.2. Uji Infiltrasi Lapangan 1

Penurunan muka air cm	Volume Komulatif cm ³	Waktu			Laju Infiltrasi	
		Penurunan menit	Kumulatif detik	detik	cm ³ /dt	ltr/dt
0	0.0	0.0	0.0	0.0		
10	810.7	0.0	4.1	4.1	195.8	0.196
20	1,621.5	0.0	7.9	7.9	206.0	0.206
30	2,432.2	0.0	11.7	11.7	207.9	0.208
40	3,242.9	0.0	15.6	15.6	207.5	0.207
50	4,053.7	0.0	20.3	20.3	199.7	0.200
60	4,864.4	0.0	25.5	25.5	190.8	0.191
70	5,675.1	0.0	31.9	31.9	177.7	0.178
80	6,485.9	0.0	38.8	38.8	167.2	0.167
90	7,296.6	0.0	47.7	47.7	153.1	0.153
100	8,107.3	0.0	60.0	60.0	135.2	0.135
110	8,918.1	1.0	13.2	73.2	121.9	0.122
120	9,728.8	1.0	39.1	99.1	98.1	0.098
130	10,539.5	2.0	8.1	128.1	82.3	0.082
140	11,350.2	2.0	57.3	177.3	64.0	0.064
150	12,161.0	3.0	53.7	233.7	52.0	0.052
160	12,971.7	4.0	56.8	296.8	43.7	0.044
170	13,782.4	6.0	43.0	403.0	34.2	0.034
180	14,593.2	8.0	32.9	512.9	28.5	0.028
190	15,403.9					
200	16,214.6					

Sumber: hasil pengujian lapangan.



Tabel 3.3. Uji Infiltrasi Lapangan 2

Penurunan muka air	Volume Komulatif	Waktu Penurunan Komulatif			Laju Infiltrasi	
cm	cm3	menit	detik	detik	cm3/dt	ltr/dt
0	0.0	0.0	0.0	0.0		
10	810.7	0.0	3.8	3.8	216.2	0.216
20	1,621.5	0.0	6.4	6.4	253.0	0.253
30	2,432.2	0.0	9.2	9.2	264.4	0.264
40	3,242.9	0.0	12.1	12.1	267.6	0.268
50	4,053.7	0.0	15.4	15.4	262.5	0.263
60	4,864.4	0.0	18.9	18.9	258.1	0.258
70	5,675.1	0.0	23.0	23.0	247.2	0.247
80	6,485.9	0.0	28.2	28.2	230.0	0.230
90	7,296.6	0.0	33.6	33.6	217.3	0.217
100	8,107.3	0.0	39.7	39.7	204.0	0.204
110	8,918.1	0.0	48.1	48.1	185.3	0.185
120	9,728.8	1.0	1.5	61.5	158.1	0.158
130	10,539.5	1.0	26.0	86.0	122.6	0.123
140	11,350.2	2.0	26.3	146.3	77.6	0.078
150	12,161.0	3.0	16.3	196.3	61.9	0.062
160	12,971.7	4.0	20.4	260.4	49.8	0.050
170	13,782.4	5.0	31.0	331.0	41.6	0.042
180	14,593.2	6.0	58.5	418.5	34.9	0.035
190	15,403.9	7.0	58.2	478.2	32.2	0.032
200	16,214.6					
					Rata-rata	0.168

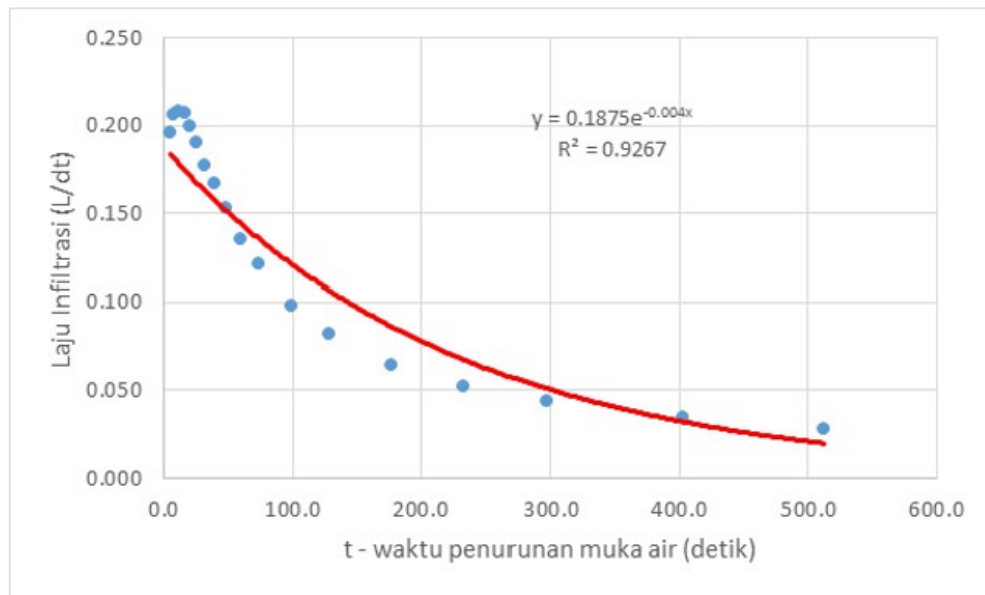
Sumber: hasil pengujian lapangan



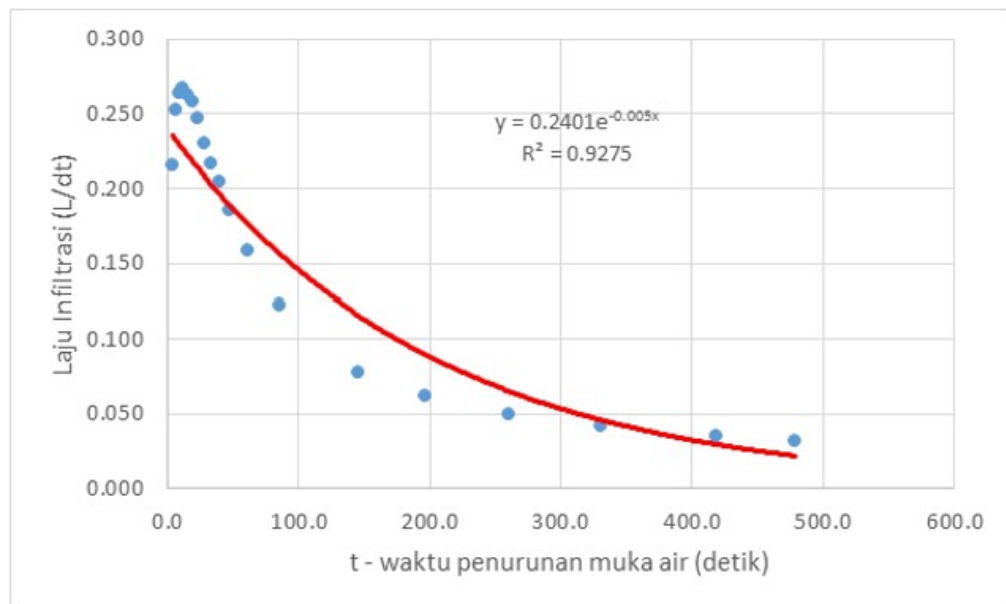
Tabel 3.3. Uji Infiltrasi Lapangan 3

Penurunan muka air cm	Volume Komulatif cm ³	Waktu Penurunan Komulatif			Laju Infiltrasi	
		menit	detik	detik	cm ³ /dt	ltr/dt
0	0.0	0.0	0.0	0.0		
10	810.7	0.0	4.8	4.8	169.3	0.169
20	1,621.5	0.0	7.5	7.5	217.4	0.217
30	2,432.2	0.0	10.7	10.7	226.9	0.227
40	3,242.9	0.0	14.0	14.0	232.1	0.232
50	4,053.7	0.0	18.3	18.3	222.0	0.222
60	4,864.4	0.0	22.5	22.5	216.7	0.217
70	5,675.1	0.0	27.8	27.8	204.5	0.205
80	6,485.9	0.0	33.2	33.2	195.6	0.196
90	7,296.6	0.0	41.4	41.4	176.5	0.176
100	8,107.3	0.0	51.9	51.9	156.3	0.156
110	8,918.1	1.0	11.2	71.2	125.3	0.125
120	9,728.8	1.0	33.5	93.5	104.0	0.104
130	10,539.5	1.0	59.6	119.6	88.1	0.088
140	11,350.2	2.0	36.1	156.1	72.7	0.073
150	12,161.0	3.0	17.9	197.9	61.5	0.061
160	12,971.7	4.0	17.1	257.1	50.5	0.050
170	13,782.4	5.0	21.4	321.4	42.9	0.043
180	14,593.2	6.0	21.9	381.9	38.2	0.038
190	15,403.9	7.0	12.4	432.4	35.6	0.036
200	16,214.6	8.0	13.6	493.6	32.8	0.033
					Rata-rata	0.133

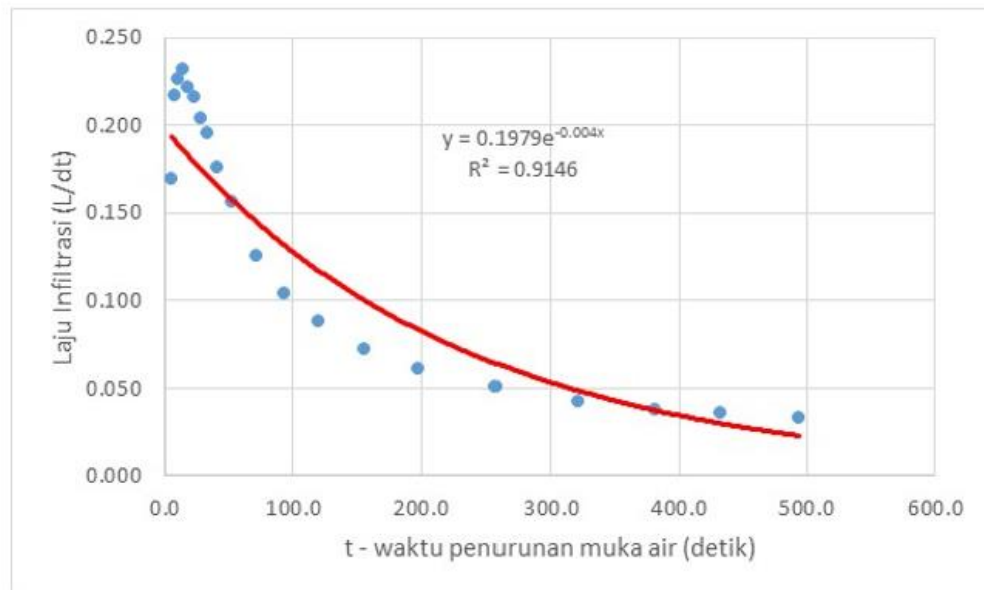
Sumber: hasil pengujian lapangan



Gambar 3.9. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 1



Gambar 3.10. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 2



Gambar 3.11. Grafik Laju Infiltrasi Pengujian 3

3.4. Analisis.

3.4.1. Analisis Data Curah Hujan

Curah hujan wilayah adalah curah hujan yang jatuh pada suatu wilayah tertentu. Dalam hal ini dianggap bahwa hujan yang terjadi di dalam suatu kawasan bersifat merata, sehingga curah hujan yang ada dari tiga station pencatat hujan harus dirata-ratakan. Ada beberapa metode untuk merata-ratakan data curah hujan pada station penakar hujan sehingga menjadi curah hujan wilayah yaitu (Soemarto, 1987):

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah metode paling sederhana dan paling mudah penerapannya, namun membutuhkan kondisi tertentu yaitu station pencatat hujan di dalam kawasan harus tersebar secara merata dan data pada masing-masing penakar tidak menyimpang jauh dengan reratanya. Untuk Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali cara ini kurang disarankan.

2. Metode Polygon Thiesen.

Metode poligon Thiesen sesungguhnya adalah metode rerata tertimbang dimana faktor penimbangnya adalah luas pengaruh wilayahnya. Masing-masing penakar



mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar.

3. Metode Isohyet

Ini adalah cara yang paling teliti, tetapi membutuhkan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet-isohyet.

4. Metode Inverse Distance Weighting (IDW)

Metode ini adalah merupakan metode interpolasi konvensional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud adalah jarak datar dari titik pos hujan terhadap blok yang akan diestimasi. Pada metode ini penakar curah hujan yang lebih dekat akan memberi pengaruh yang lebih besar dari pada pos penakar yang lebih jauh, Bahtiar (2022).

Dari ke empat metode tersebut di atas yang paling cocok diterapkan pada kawasan ini adalah metode Metode Inverse Distance Weighting (IDW) sebagai berikut:

Bobot Pengaruh Sta. Hujan

23.061,00 jumlah Jarak

1,92	Bobot Jarak Sta Ngurah Rai
4,12	Bobot Jarak Sta Sta Sanglah
4,25	Bobot Jarak Sta Sta Sumerta
	jumlah Bobot
10,29	Jarak
18,62%	Persentase Sta Ngurah Rai
40,02%	Persentase Sta Sta Sanglah
41,36%	Persentase Sta Sta Sumerta



Tabel 3.5. Curah Hujan Wilayah

No	Tahun	Hujan Mak (mm)	Log R	(log R-Log Rrerata) ²
1	1991	163,000	2,212	0,003
2	1992	169,000	2,228	0,005
3	1993	185,000	2,267	0,012
4	1994	159,000	2,201	0,002
5	1995	150,000	2,176	0,000
6	1996	137,000	2,137	0,000
7	1997	148,000	2,170	0,000
8	1998	93,000	1,968	0,035
9	1999	145,000	2,161	0,000
10	2000	110,000	2,041	0,013
11	2001	175,000	2,243	0,008
12	2002	129,000	2,111	0,002
13	2003	169,500	2,229	0,005
14	2004	163,000	2,212	0,003
15	2005	152,000	2,182	0,001
16	2006	131,000	2,117	0,001
17	2007	200,000	2,301	0,021
18	2008	130,000	2,114	0,002
19	2009	219,500	2,341	0,035
20	2010	134,700	2,129	0,001
21	2011	122,500	2,088	0,005
22	2012	92,900	1,968	0,035
23	2013	140,000	2,146	0,000
24	2014	119,000	2,076	0,006
25	2015	110,000	2,041	0,013
26	2016	164,000	2,215	0,004
27	2017	98,000	1,991	0,027
28	2018	194,000	2,288	0,017
		Jumlah	60,356	0,258
		Rata-rata	2,156	

Sumber: hasil analisis

3.4.2. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelumnya data curah hujan digunakan dalam analisis banjir terlebih dahulu dilakukan pengujian konsistensi sebagai berikut:

1. Uji Outlier



Data curah hujan dipastikan agar tidak ada yang outlier, jika ada yang outlier akan dilakukan treatment sesuai dengan ketentuan SNI.

Hasil pengujian outlier tersaji dalam Tabel 3.6 sampai 3.8 sebagai berikut:



Tabel 3.6. Uji Outlier Sta Sumerta

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)	Log R	$(\log R - \log R_{\text{rerata}})^2$
1	1991	163,000	2,212	0,003
2	1992	169,000	2,228	0,005
3	1993	185,000	2,267	0,012
4	1994	159,000	2,201	0,002
5	1995	150,000	2,176	0,000
6	1996	137,000	2,137	0,000
7	1997	148,000	2,170	0,000
8	1998	93,000	1,968	0,035
9	1999	145,000	2,161	0,000
10	2000	110,000	2,041	0,013
11	2001	175,000	2,243	0,008
12	2002	129,000	2,111	0,002
13	2003	169,500	2,229	0,005
14	2004	163,000	2,212	0,003
15	2005	152,000	2,182	0,001
16	2006	131,000	2,117	0,001
17	2007	200,000	2,301	0,021
18	2008	130,000	2,114	0,002
19	2009	219,500	2,341	0,035
20	2010	134,700	2,129	0,001
21	2011	122,500	2,088	0,005
22	2012	92,900	1,968	0,035
23	2013	140,000	2,146	0,000
24	2014	119,000	2,076	0,006
25	2015	110,000	2,041	0,013
26	2016	164,000	2,215	0,004
27	2017	98,000	1,991	0,027
28	2018	194,000	2,288	0,017
Jumlah			60,356	0,258
Rata-rata			2,156	

Sumber: hasil analisis

$$\begin{aligned}
 n &= 28 \\
 X_r &= 2,156
 \end{aligned}$$



$$S = 0,098$$

Ambang atas outlier :

Dengan $n = 28$ maka $K_n = 2,534$

$$X_{atas} = \exp(X_r + K_n * S)$$

$$X_{atas} = \exp 2,403$$

$$X_{atas} = 253,059$$

Data maksimum : 219,500 \longrightarrow sebaran maksimal bisa diterima

$$X_{bawah} = \exp(X_r - K_n * S)$$

$$X_{bawah} = \exp 1,908$$

$$X_{bawah} = 80,894$$

Data minimum : 92,900 \longrightarrow sebaran minimal bisa diterima



Tabel 3.7. Uji Outlier Sta Sanglah

No	Tahun	Hujan Mak (mm)	Log R	(log R-Log Rrerata) ²
1	1991	98,000	1,991	0,008
2	1992	102,000	2,009	0,005
3	1993	110,000	2,041	0,002
4	1994	60,000	1,778	0,092
5	1995	176,900	2,248	0,028
6	1996	159,600	2,203	0,015
7	1997	155,000	2,190	0,012
8	1998	77,500	1,889	0,037
9	1999	147,500	2,169	0,008
10	2000	227,800	2,358	0,077
11	2001	135,700	2,133	0,003
12	2002	80,000	1,903	0,032
13	2003	123,700	2,092	0,000
14	2004	112,100	2,050	0,001
15	2005	147,800	2,170	0,008
16	2006	106,000	2,025	0,003
17	2007	189,700	2,278	0,039
18	2008	106,000	2,025	0,003
19	2009	189,600	2,278	0,039
20	2010	89,000	1,949	0,017
21	2011	106,300	2,027	0,003
22	2012	98,900	1,995	0,007
23	2013	128,000	2,107	0,001
24	2014	91,500	1,961	0,014
25	2015	98,600	1,994	0,008
26	2016	180,000	2,255	0,030
27	2017	106,000	2,025	0,003
28	2018	138,700	2,142	0,004
29	2019	72,500	1,860	0,049
30	2020	123,400	2,091	0,000
31	2021	187,500	2,273	0,037
32	2022	120,000	2,079	0,000
Jumlah			66,590	0,582
Rata-rata			2,081	

Sumber: hasil analisis



$$\begin{aligned} n &= 32 \\ X_r &= 2,081 \\ S &= 0,137 \end{aligned}$$

Ambang atas outlier :

Dengan $n = 32$ maka $K_n = 2,591$

$$X_{atas} = \exp(X_r + K_n * S)$$

$$X_{atas} = \exp \quad 2,436$$

$$X_{atas} = 272,935$$

Data maksimum : 227,800 \longrightarrow sebaran maksimal bisa diterima

$$X_{bawah} = \exp(X_r - K_n * S)$$

$$X_{bawah} = \exp \quad 1,726$$

$$X_{bawah} = 53,189$$

Data minimum : 60,000 \longrightarrow sebaran minimal bisa diterima



Tabel 3.8. Uji Outlier Sta Ngurah Rai

No	Tahun	Hujan Mak (mm)	Log R	(log R-Log Rrerata) ²
1	1991	110,000	2,041	0,000
2	1992	199,000	2,299	0,057
3	1993	184,000	2,265	0,042
4	1994	82,000	1,914	0,021
5	1995	92,000	1,964	0,009
6	1996	192,000	2,283	0,050
7	1997	147,000	2,167	0,011
8	1998	126,000	2,100	0,002
9	1999	231,000	2,364	0,092
10	2000	139,000	2,143	0,007
11	2001	99,000	1,996	0,004
12	2002	78,000	1,892	0,028
13	2003	120,000	2,079	0,000
14	2004	142,000	2,152	0,008
15	2005	117,000	2,068	0,000
16	2006	116,800	2,067	0,000
17	2007	81,600	1,912	0,022
18	2008	94,900	1,977	0,007
19	2009	112,000	2,049	0,000
20	2010	113,700	2,056	0,000
21	2011	81,000	1,908	0,023
22	2012	102,100	2,009	0,003
23	2013	103,200	2,014	0,002
24	2014	107,400	2,031	0,001
25	2015	88,700	1,948	0,013
26	2016	145,600	2,163	0,011
27	2017	113,400	2,055	0,000
28	2018	85,200	1,930	0,017
29	2019	77,000	1,886	0,030
30	2020	80,700	1,907	0,023
31	2021	177,400	2,249	0,036
32	2022	108,000	2,033	0,001
Jumlah			65,923	0,521
Rata-rata			2,060	

Sumber: hasil analisis



$$\begin{aligned} n &= 32 \\ X_r &= 2,060 \\ S &= 0,130 \end{aligned}$$

Ambang atas outlier :

$$\text{Dengan } n = 32 \text{ maka } K_n = 2,591$$

$$\begin{aligned} X_{\text{atas}} &= \exp(X_r + K_n * S) \\ X_{\text{atas}} &= \exp \quad 2,396 \\ X_{\text{atas}} &= \quad 248,863 \end{aligned}$$

Data maksimum : 231,000 → sebaran maksimal bisa diterima

$$\begin{aligned} X_{\text{bawah}} &= \exp(X_r - K_n * S) \\ X_{\text{bawah}} &= \exp \quad 1,724 \\ X_{\text{bawah}} &= \quad 52,995 \end{aligned}$$

Data minimum : 77,000 → sebaran minimal bisa diterima



2. Uji Konsistensi

Untuk menguji konsistensi data curah hujan dilakukan dengan metode Rescaled Adjusted Partial Sum (RAPS) sebagai berikut:

Tabel 3.9. Uji RAPS Sta Sumerta

No	Tahun	Hujan Max	Sk*	Dy ²	Sk**	Sk** (abs)
1	1991	163,00	16,46	270,96	0,10	0,10
2	1992	169,00	22,46	504,48	0,13	0,13
3	1993	185,00	38,46	1479,23	0,23	0,23
4	1994	159,00	12,46	155,27	0,07	0,07
5	1995	150,00	3,46	11,98	0,02	0,02
6	1996	137,00	-9,54	91,00	-0,06	0,06
7	1997	148,00	1,46	2,13	0,01	0,01
8	1998	93,00	-53,54	2866,46	-0,32	0,32
9	1999	145,00	-1,54	2,37	-0,01	0,01
10	2000	110,00	-36,54	1335,12	-0,22	0,22
11	2001	175,00	28,46	810,01	0,17	0,17
12	2002	129,00	-17,54	307,63	-0,10	0,10
13	2003	169,50	22,96	527,19	0,14	0,14
14	2004	163,00	16,46	270,96	0,10	0,10
15	2005	152,00	5,46	29,82	0,03	0,03
16	2006	131,00	-15,54	241,47	-0,09	0,09
17	2007	200,00	53,46	2858,05	0,32	0,32
18	2008	130,00	-16,54	273,55	-0,10	0,10
19	2009	219,50	72,96	5323,27	0,44	0,44
20	2010	134,70	-11,84	140,17	-0,07	0,07
21	2011	122,50	-24,04	577,89	-0,14	0,14
22	2012	92,90	-53,64	2877,17	-0,32	0,32
23	2013	140,00	-6,54	42,76	-0,04	0,04
24	2014	119,00	-27,54	758,41	-0,16	0,16
25	2015	110,00	-36,54	1335,12	-0,22	0,22
26	2016	164,00	17,46	304,88	0,10	0,10
27	2017	98,00	-48,54	2356,06	-0,29	0,29
28	2018	194,00	47,46	2252,52	0,28	0,28
Jumlah		4103,10	0,00	28005,91		
Rata-rata		146,539	Dy =	167,350		



Sumber: hasil analisis

n	=	28	
Sk**mak	=	0,436	
Sk**min	=	-0,321	
Q	=	0,436	
R	=	0,321	
$Q/n^{0,5}$	syarat =	1,236	
$R/n^{0,5}$	syarat =	1,486	
$Q/n^{0,5}$	hitung =	0,082	
$R/n^{0,5}$	hitung =	0,061	
$Q/n^{0,5}$	hitung <	$Q/n^{0,5}$ syarat	→ OK
$R/n^{0,5}$	hitung <	$R/n^{0,5}$ syarat	→ OK

Keterangan :

Data hujan konsisten, tidak perlu perbaikan data



Tabel 3.10. Uji RAPS Sta Sanglah

No	Tahun	Hujan Max	Sk*	Dy ²	Sk**	Sk** (abs)
1	1991	98,00	-28,42	807,45	-0,13	0,13
2	1992	102,00	-24,42	596,12	-0,11	0,11
3	1993	110,00	-16,42	269,47	-0,07	0,07
4	1994	60,00	-66,42	4411,04	-0,30	0,30
5	1995	176,90	50,48	2548,67	0,23	0,23
6	1996	159,60	33,18	1101,20	0,15	0,15
7	1997	155,00	28,58	817,07	0,13	0,13
8	1998	77,50	-48,92	2392,74	-0,22	0,22
9	1999	147,50	21,08	444,55	0,09	0,09
10	2000	227,80	101,38	10278,79	0,45	0,45
11	2001	135,70	9,28	86,20	0,04	0,04
12	2002	80,00	-46,42	2154,41	-0,21	0,21
13	2003	123,70	-2,72	7,37	-0,01	0,01
14	2004	112,10	-14,32	204,94	-0,06	0,06
15	2005	147,80	21,38	457,29	0,10	0,10
16	2006	106,00	-20,42	416,80	-0,09	0,09
17	2007	189,70	63,28	4004,91	0,28	0,28
18	2008	106,00	-20,42	416,80	-0,09	0,09
19	2009	189,60	63,18	3992,27	0,28	0,28
20	2010	89,00	-37,42	1399,93	-0,17	0,17
21	2011	106,30	-20,12	404,64	-0,09	0,09
22	2012	98,90	-27,52	757,11	-0,12	0,12
23	2013	128,00	1,58	2,51	0,01	0,01
24	2014	91,50	-34,92	1219,10	-0,16	0,16
25	2015	98,60	-27,82	773,71	-0,12	0,12
26	2016	180,00	53,58	2871,29	0,24	0,24
27	2017	106,00	-20,42	416,80	-0,09	0,09
28	2018	138,70	12,28	150,91	0,05	0,05
29	2019	72,50	-53,92	2906,89	-0,24	0,24
30	2020	123,40	-3,02	9,09	-0,01	0,01
31	2021	187,50	61,08	3731,30	0,27	0,27
32	2022	120,00	-6,42	41,16	-0,03	0,03
Jumlah		4045,30	0,00	50092,52		
Rata-rata		126,416	Dy =	223,814		

Sumber: hasil analisis



$$n = 32$$

$$Sk^{**mak} = 0,453$$

$$Sk^{**min} = -0,297$$

$$Q = 0,453$$

$$R = 0,297$$

$$Q/n \ 0,5 \ \text{syarat} = 1,246$$

$$R/n \ 0,5 \ \text{syarat} = 1,510$$

$$Q/n \ 0,5 \ \text{hitung} = 0,080$$

$$R/n \ 0,5 \ \text{hitung} = 0,052$$

$$Q/n \ 0,5 \ \text{hitung} < Q/n \ 0,5 \ \text{syarat} \quad \text{OK}$$

$$R/n \ 0,5 \ \text{hitung} < R/n \ 0,5 \ \text{syarat} \quad \text{OK}$$

Keterangan :

Data hujan konsisten, tidak perlu perbaikan data



Tabel 3.11. Uji RAPS Sta Ngurah Rai

No	Tahun	Hujan Max	Sk*	Dy ²	Sk**	Sk** (abs)
1	1991	110,00	-10,21	104,23	-0,05	0,05
2	1992	199,00	78,79	6207,96	0,36	0,36
3	1993	184,00	63,79	4069,24	0,29	0,29
4	1994	82,00	-38,21	1459,96	-0,17	0,17
5	1995	92,00	-28,21	795,77	-0,13	0,13
6	1996	192,00	71,79	5153,89	0,33	0,33
7	1997	147,00	26,79	717,74	0,12	0,12
8	1998	126,00	5,79	33,53	0,03	0,03
9	1999	231,00	110,79	12274,56	0,50	0,50
10	2000	139,00	18,79	353,09	0,09	0,09
11	2001	99,00	-21,21	449,84	-0,10	0,10
12	2002	78,00	-42,21	1781,63	-0,19	0,19
13	2003	120,00	-0,21	0,04	0,00	0,00
14	2004	142,00	21,79	474,83	0,10	0,10
15	2005	117,00	-3,21	10,30	-0,01	0,01
16	2006	116,80	-3,41	11,62	-0,02	0,02
17	2007	81,60	-38,61	1490,68	-0,18	0,18
18	2008	94,90	-25,31	640,56	-0,12	0,12
19	2009	112,00	-8,21	67,39	-0,04	0,04
20	2010	113,70	-6,51	42,37	-0,03	0,03
21	2011	81,00	-39,21	1537,38	-0,18	0,18
22	2012	102,10	-18,11	327,95	-0,08	0,08
23	2013	103,20	-17,01	289,32	-0,08	0,08
24	2014	107,40	-12,81	164,08	-0,06	0,06
25	2015	88,70	-31,51	992,84	-0,14	0,14
26	2016	145,60	25,39	644,68	0,12	0,12
27	2017	113,40	-6,81	46,37	-0,03	0,03
28	2018	85,20	-35,01	1225,66	-0,16	0,16
29	2019	77,00	-43,21	1867,05	-0,20	0,20
30	2020	80,70	-39,51	1560,99	-0,18	0,18
31	2021	177,40	57,19	3270,77	0,26	0,26
32	2022	108,00	-12,21	149,07	-0,06	0,06
Jumlah		3846,70	0,00	48215,41		
Rata-rata		120,209	Dy =	219,580		

Sumber: hasil analisis



n	=	32		
Sk**mak	=	0,505		
Sk**min	=	-0,197		
Q	=	0,505		
R	=	0,197		
Q/n 0,5	syarat =	1,246		
R/n 0,5	syarat =	1,510		
Q/n 0,5	hitung =	0,089		
R/n 0,5	hitung =	0,035		
Q/n 0,5	hitung <	Q/n 0,5 syarat		OK
R/n 0,5	hitung <	R/n 0,5 syarat		OK

Keterangan :

Data hujan konsisten, tidak perlu perbaikan data.

3. Uji Distribusi

Uji distribusi ini dimaksudkan untuk mengetahui suatu kebenaran hipotesa distribusi frekuensi. Dengan pemeriksaan ini akan diketahui: kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan (secara teoritis) dan kebenaran hipotesis. Hipotesis suatu rancangan awal adalah merupakan perumusan sementara mengenai suatu hal, untuk menjelaskan hasil tersebut dilakukan suatu penyelidikan. Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan plotting data pada kertas probabilitas. Uji distribusi yang umum digunakan dalam analisa data curah hujan adalah:

- Metode Smirnov – Kolmogorov
- Metode Chi Square

Hasil uji distribusi terhadap data curah hujan pada 3 (tiga) station pengamatan hujan adalah sebagai berikut:



Tabel 3.12. Uji Distribusi Curah Hujan Sta Sumerta

No.	Tahun	Xi	(Xi - Xrt)	(Xi - Xrt) ²	(Xi - Xrt) ³	(Xi - Xrt) ⁴
1	1991	163,0	16,5	2,7E+02	4,5E+03	7,3E+04
2	1992	169,0	22,5	5,0E+02	1,1E+04	2,5E+05
3	1993	185,0	38,5	1,5E+03	5,7E+04	2,2E+06
4	1994	159,0	12,5	1,6E+02	1,9E+03	2,4E+04
5	1995	150,0	3,5	1,2E+01	4,1E+01	1,4E+02
6	1996	137,0	-9,5	9,1E+01	-8,7E+02	8,3E+03
7	1997	148,0	1,5	2,1E+00	3,1E+00	4,6E+00
8	1998	93,0	-53,5	2,9E+03	-1,5E+05	8,2E+06
9	1999	145,0	-1,5	2,4E+00	-3,6E+00	5,6E+00
10	2000	110,0	-36,5	1,3E+03	-4,9E+04	1,8E+06
11	2001	175,0	28,5	8,1E+02	2,3E+04	6,6E+05
12	2002	129,0	-17,5	3,1E+02	-5,4E+03	9,5E+04
13	2003	169,5	23,0	5,3E+02	1,2E+04	2,8E+05
14	2004	163,0	16,5	2,7E+02	4,5E+03	7,3E+04
15	2005	152,0	5,5	3,0E+01	1,6E+02	8,9E+02
16	2006	131,0	-15,5	2,4E+02	-3,8E+03	5,8E+04
17	2007	200,0	53,5	2,9E+03	1,5E+05	8,2E+06
18	2008	130,0	-16,5	2,7E+02	-4,5E+03	7,5E+04
19	2009	219,5	73,0	5,3E+03	3,9E+05	2,8E+07
20	2010	134,7	-11,8	1,4E+02	-1,7E+03	2,0E+04
21	2011	122,5	-24,0	5,8E+02	-1,4E+04	3,3E+05
22	2012	92,9	-53,6	2,9E+03	-1,5E+05	8,3E+06
23	2013	140,0	-6,5	4,3E+01	-2,8E+02	1,8E+03
24	2014	119,0	-27,5	7,6E+02	-2,1E+04	5,8E+05
25	2015	110,0	-36,5	1,3E+03	-4,9E+04	1,8E+06
26	2016	164,0	17,5	3,0E+02	5,3E+03	9,3E+04
27	2017	98,0	-48,5	2,4E+03	-1,1E+05	5,6E+06
28	2018	194,0	47,5	2,3E+03	1,1E+05	5,1E+06
Jumlah		4103	0	2,80E+04	1,97E+05	7,20E+07
Rerata x		146,539				
S		32,206				
n		28,000				

Sumber : hasil analisis

$$M4c = 2,57E+06$$

$$M3c = 7,03E+03$$



$$M2c = 1,00E+03$$

$$Cs = 0,248$$

$$Ck = 3,215$$

$$Cv = 0,220$$

Tabel 3.13. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekuensi Sta Sumerta

Distribusi Normal $Cs = 0$ $Ck = 3$	Distribusi Gumbel Tipe I $Cs \leq 1.1395$ $Ck \leq 5.4002$	Distribusi Log Pearson Type III $Cs \neq 0$
$Cs = 0,248$ tidak memenuhi	$Cs = 0,248$ memenuhi	$Cs = 0,248$ memenuhi
$Ck = 3,215$ tidak memenuhi	$Ck = 3,215$ memenuhi	

Sumber: hasil analisis.

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa sebaran yang memenuhi syarat adalah Distribusi Log Pearson Type III dan Distribusi Gumbel Type I.



Tabel 3.14. Uji Distribusi Data Curah Hujan Sta Sanglah

No.	Tahun	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	1991	98,0	-28,4	8,1E+02	-2,3E+04	6,5E+05
2	1992	102,0	-24,4	6,0E+02	-1,5E+04	3,6E+05
3	1993	110,0	-16,4	2,7E+02	-4,4E+03	7,3E+04
4	1994	60,0	-66,4	4,4E+03	-2,9E+05	1,9E+07
5	1995	176,9	50,5	2,5E+03	1,3E+05	6,5E+06
6	1996	159,6	33,2	1,1E+03	3,7E+04	1,2E+06
7	1997	155,0	28,6	8,2E+02	2,3E+04	6,7E+05
8	1998	77,5	-48,9	2,4E+03	-1,2E+05	5,7E+06
9	1999	147,5	21,1	4,4E+02	9,4E+03	2,0E+05
10	2000	227,8	101,4	1,0E+04	1,0E+06	1,1E+08
11	2001	135,7	9,3	8,6E+01	8,0E+02	7,4E+03
12	2002	80,0	-46,4	2,2E+03	-1,0E+05	4,6E+06
13	2003	123,7	-2,7	7,4E+00	-2,0E+01	5,4E+01
14	2004	112,1	-14,3	2,0E+02	-2,9E+03	4,2E+04
15	2005	147,8	21,4	4,6E+02	9,8E+03	2,1E+05
16	2006	106,0	-20,4	4,2E+02	-8,5E+03	1,7E+05
17	2007	189,7	63,3	4,0E+03	2,5E+05	1,6E+07
18	2008	106,0	-20,4	4,2E+02	-8,5E+03	1,7E+05
19	2009	189,6	63,2	4,0E+03	2,5E+05	1,6E+07
20	2010	89,0	-37,4	1,4E+03	-5,2E+04	2,0E+06
21	2011	106,3	-20,1	4,0E+02	-8,1E+03	1,6E+05
22	2012	98,9	-27,5	7,6E+02	-2,1E+04	5,7E+05
23	2013	128,0	1,6	2,5E+00	4,0E+00	6,3E+00
24	2014	91,5	-34,9	1,2E+03	-4,3E+04	1,5E+06
25	2015	98,6	-27,8	7,7E+02	-2,2E+04	6,0E+05
26	2016	180,0	53,6	2,9E+03	1,5E+05	8,2E+06
27	2017	106,0	-20,4	4,2E+02	-8,5E+03	1,7E+05
28	2018	138,7	12,3	1,5E+02	1,9E+03	2,3E+04
29	2019	72,5	-53,9	2,9E+03	-1,6E+05	8,5E+06
30	2020	123,4	-3,0	9,1E+00	-2,7E+01	8,3E+01
31	2021	187,5	61,1	3,7E+03	2,3E+05	1,4E+07
32	2022	120,0	-6,4	4,1E+01	-2,6E+02	1,7E+03
Jumlah		4045	0	5,01E+04	1,26E+06	2,13E+08
Rerata x		126,416				
S		40,198				
n		32,000				

Sumber : hasil analisis



$$M4c = 6,67E+06$$

$$M3c = 3,93E+04$$

$$M2c = 1,57E+03$$

$$Cs = 0,698$$

$$Ck = 3,305$$

$$Cv = 0,318$$

Tabel 3.15. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekuensi Sta Sanglah

Distribusi Normal $Cs = 0$ $Ck = 3$	Distribusi Gumbel Tipe I $Cs \leq 1.1395$ $Ck \leq 5.4002$	Distribusi Log Pearson Type III $Cs < 0$ $cv 0,3$
$Cs = 0,698$ tidak memenuhi	$Cs = 0,698$ memenuhi	$Cs = 0,698$ memenuhi
$Ck = 3,305$ tidak memenuhi	$Ck = 3,305$ memenuhi	

Sumber: hasil analisis.

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa sebaran yang memenuhi syarat adalah Distribusi Log Pearson Type III dan Distribusi Gumbel Type I.



Tabel 3.16. Uji Distribusi Data Curah Hujan Sta, Ngurah Rai.

No.	Tahun	X_i	$(X_i - \bar{X}_{rt})$	$(X_i - \bar{X}_{rt})^2$	$(X_i - \bar{X}_{rt})^3$	$(X_i - \bar{X}_{rt})^4$
1	1991	110,0	-10,2	1,0E+02	-1,1E+03	1,1E+04
2	1992	199,0	78,8	6,2E+03	4,9E+05	3,9E+07
3	1993	184,0	63,8	4,1E+03	2,6E+05	1,7E+07
4	1994	82,0	-38,2	1,5E+03	-5,6E+04	2,1E+06
5	1995	92,0	-28,2	8,0E+02	-2,2E+04	6,3E+05
6	1996	192,0	71,8	5,2E+03	3,7E+05	2,7E+07
7	1997	147,0	26,8	7,2E+02	1,9E+04	5,2E+05
8	1998	126,0	5,8	3,4E+01	1,9E+02	1,1E+03
9	1999	231,0	110,8	1,2E+04	1,4E+06	1,5E+08
10	2000	139,0	18,8	3,5E+02	6,6E+03	1,2E+05
11	2001	99,0	-21,2	4,5E+02	-9,5E+03	2,0E+05
12	2002	78,0	-42,2	1,8E+03	-7,5E+04	3,2E+06
13	2003	120,0	-0,2	4,4E-02	-9,2E-03	1,9E-03
14	2004	142,0	21,8	4,7E+02	1,0E+04	2,3E+05
15	2005	117,0	-3,2	1,0E+01	-3,3E+01	1,1E+02
16	2006	116,8	-3,4	1,2E+01	-4,0E+01	1,4E+02
17	2007	81,6	-38,6	1,5E+03	-5,8E+04	2,2E+06
18	2008	94,9	-25,3	6,4E+02	-1,6E+04	4,1E+05
19	2009	112,0	-8,2	6,7E+01	-5,5E+02	4,5E+03
20	2010	113,7	-6,5	4,2E+01	-2,8E+02	1,8E+03
21	2011	81,0	-39,2	1,5E+03	-6,0E+04	2,4E+06
22	2012	102,1	-18,1	3,3E+02	-5,9E+03	1,1E+05
23	2013	103,2	-17,0	2,9E+02	-4,9E+03	8,4E+04
24	2014	107,4	-12,8	1,6E+02	-2,1E+03	2,7E+04
25	2015	88,7	-31,5	9,9E+02	-3,1E+04	9,9E+05
26	2016	145,6	25,4	6,4E+02	1,6E+04	4,2E+05
27	2017	113,4	-6,8	4,6E+01	-3,2E+02	2,1E+03
28	2018	85,2	-35,0	1,2E+03	-4,3E+04	1,5E+06
29	2019	77,0	-43,2	1,9E+03	-8,1E+04	3,5E+06
30	2020	80,7	-39,5	1,6E+03	-6,2E+04	2,4E+06
31	2021	177,4	57,2	3,3E+03	1,9E+05	1,1E+07
32	2022	108,0	-12,2	1,5E+02	-1,8E+03	2,2E+04
Jumlah		3847	0	4,82E+04	2,19E+06	2,64E+08
Rerata x		120,209				
S		39,438				
n		32,000				

Sumber : hasil analisis



$$M4c = 8,25E+06$$

$$M3c = 6,84E+04$$

$$M2c = 1,51E+03$$

$$Cs = 1,287$$

$$Ck = 4,417$$

$$Cv = 0,328$$

Tabel 3.17. Syarat Pengujian Agihan Data Untuk Analisis Frekuensi Sta Ngurah Rai

Distribusi Normal $Cs = 0$ $Ck = 3$	Distribusi Gumbel Tipe I $Cs \leq 1.1395$ $Ck \leq 5.4002$	Distribusi Log Pearson Type III $Cs < 0$ $cv 0,3$
$Cs = 1,287$ tidak memenuhi	$Cs = 1,287$ tidak memenuhi	$Cs = 1,287$ memenuhi
$Ck = 4,417$ tidak memenuhi	$Ck = 4,417$ memenuhi	

Sumber: hasil analisis.

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa sebaran yang memenuhi syarat adalah Distribusi Log Pearson Type III dan Distribusi Gumbel Type I.



Tabel 3.18. Curah Hujan Wilayah Kawasan Bumi Ayu

Periode Ulang (Tahun)	Stasiun Ngurah Rai			Stasiun Sanglah			Stasiun Sumerta			CH Rerata Wilayah (mm)
	CH Ranc (mm)	Jarak (m)	%	CH Ranc (mm)	Jarak (m)	%	CH Ranc (mm)	Jarak (m)	%	
2	114,17	12038	18,62	120,26	5602	40,02	141,65	5421	41,36	127,97
5	154,10	12038	18,62	160,96	5602	40,02	174,69	5421	41,36	165,36
10	180,54	12038	18,62	187,91	5602	40,02	196,57	5421	41,36	190,12
20	205,91	12038	18,62	213,76	5602	40,02	217,56	5421	41,36	213,87
25	213,95	12038	18,62	221,97	5602	40,02	224,21	5421	41,36	221,40
50	238,74	12038	18,62	247,23	5602	40,02	244,72	5421	41,36	244,61
100	263,34	12038	18,62	272,30	5602	40,02	265,08	5421	41,36	267,64
200	287,85	12038	18,62	297,29	5602	40,02	285,36	5421	41,36	290,59
1000	344,63	12038	18,62	355,16	5602	40,02	332,34	5421	41,36	343,76

Sumber: hasil analisis.

3.4.3. Analisis Potensi Infiltrasi.

Analisis potensi infiltrasi dilakukan untuk mengkaji kemungkinan penerapan drainase vertikal. Potensi infiltrasi adalah potensi besarnya kemampuan tanah untuk menyerap air hujan yang jatuh dipermukaan tanah pada Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali. Dilakukan dengan cara melakukan boring, pengambilan sample tanah (borelog) dan pengujian langsung infiltrasi di lapangan. Hasil uji infiltrasi lapangan dicocokkan (dikonfirmasi) terhadap sample borelog, informasi lapangan (wawancara) dan hasil pengamatan langsung (observasi).

Berdasarkan data pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3. dapat dihitung:

1. Hasil Uji 1 :

Rata-rata laju infiltrasi adalah sebesar 0,131 liter/detik

Jumlah air yang dapat diserap selama berlangsungnya pengujian adalah :



$$0,131 \times 512,9 = 67,2 \text{ liter}$$

2. Hasil Uji 2 :

Rata-rata laju infiltrasi adalah sebesar 0,168 liter/detik

Jumlah air yang dapat diserap selama berlangsungnya pengujian adalah :

$$0,168 \times 478,2 = 80,3 \text{ liter}$$

3. Hasil Uji 3 :

Rata-rata laju infiltrasi adalah sebesar 0,133 liter/detik

Jumlah air yang dapat diserap selama berlangsungnya pengujian adalah :

$$0,133 \times 493,6 = 65,6 \text{ liter}$$

Rata-rata laju infiltrasi adalah sebesar $1/3(0,131 + 0,168 + 0,133) = 0,144 \text{ L/dt}$.

Rata-rata jumlah air yang terserap selama pengujian adalah sebesar :

$$1/3(67,2 + 80,3 + 65,6) = 71 \text{ liter}.$$

Berdasarkan hasil pengujian tersebut di atas lalu dibuat analisa kapasitas infiltrasi sebagai berikut:

Chatment Area (A) = 1,07 km²
 Intensitas Curah Hujan (I) = 165,36 mm/jam
 Jika Koefisien Limpasan C = 0,95

Maka Debit Banjir (Q) = 46,73 m³/dt

Reduksi

Kapasitas 1 Sumur Resapan = 0,144 l/dt
 = 0,00014 m³/dt

Potensi Jumlah Sumur (n) = 1000 unit

Debit yang direduksi (Q) = 0,144 m³/dt

Yaitu sebesar 0,31%

Dari hasil analisis diatas diperoleh bahwa potensi infiltrasi curah hujan kedalam tanah sangat kecil sekali.



3.4.4. Analisis Kapasitas Saluran Existing

Analisis kapasitas saluran di Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali ini menggunakan formula kontinuitas yaitu (Soemarto, 1987):

$$Q = A \cdot V$$

Dimana:

Q = debit saluran

A = luas penampang hidraulis (basah) saluran

Kecepatan aliran di dalam saluran dianalisis menggunakan persamaan Manning (Chow, 1959) yaitu:

$$V = 1/n \cdot S^{1/2} \cdot R^{2/3}$$

Dimana:

n = koefisien kekasaran manning

S = kemiringan dasar saluran atau kemiringan garis energi

R = jari-jari (radius) hidraulis

$$R = A/P$$

A = luas penampang hidraulis (basah) saluran

P = keliling basah

Nilai n ditentukan berdasarkan jenis material dan hasil pengejaannya yaitu: baik sekali, baik, sedang, dan jelek (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga 1990), Tabel 3.18 atau ditentukan berdasarkan tiga kriteria yaitu: minimal, normal dan maksimum (Chow, 1959) seperti tersaji dalam Tabel 3.19.



Tabel 3.19. Penentuan Koefisien Kekasaran Manning (n) menurut DPURI 1990

No	Type Saluran	<u>Baik</u> <u>sekali</u>	<u>Baik</u>	<u>Sedang</u>	<u>Jelek</u>
16.	Saluran buatan, beton atau batu kali				
17.	Saluran pemasangan batu, tanpa finishing	0.025	0.030	0.033	0.035
18.	Seperti no. 16 tapi dengan finishing	0.017	0.020	0.025	0.030
19.	Saluran beton	0.014	0.016	0.019	0.021
20.	Saluran beton halus dan rata	0.010	0.011	0.012	0.013
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum RI, 1990).

Tabel 3.20. Penentuan Koefisien Kekasaran Manning (n) menurut Chow 1959

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
1. Sewer with manholes, inlet, etc., straight	0.013	0.015	0.017
a. Unfinished, steel form	0.012	0.013	0.014
b. Unfinished, smooth wood form	0.012	0.014	0.016
c. Unfinished, rough, wood form	0.015	0.017	0.020
2. Wood			
a. Stave	0.010	0.012	0.014
b. Laminated, <u>trested</u>	0.015	0.017	0.020
3. Clay			
a. Common drainage tile	0.011	0.013	0.017
b. Vitrified sewer	0.011	0.014	0.017
c. Vitrified sewer with manholes, inlet, etc.	0.013	0.015	0.017
d. Vitrified <u>subdrain</u> with open joint	0.014	0.016	0.018
4. Brickwork			
a. Glazed	0.011	0.013	0.015
b. Line with cement mortar	0.012	0.015	0.017
5. Sanitary sewer casted with sewage slims, with bends and connections	0.012	0.013	0.016
a. Paved invert, sewer, smooth bottom	0.016	0.019	0.020
b. Rubble masonry, cemented	0.018	0.025	0.030

(Sumber: Chow, 1959)

Salah satu masalah dalam penerapan kedua refrensi tersebut di atas adalah bahwa tidak memperhitungkan terjadinya kemunduran muta material. Material baru dengan material alam yang sudah rusak nilainya sama. Suparta 2018, 2020, 2022 dan 2023 memadupadankan nilai koefisien Manning (n) dengan hasil pengukuran material di



lapangan sehingga setiap material memiliki nilai n sesuai dengan padanan kekasaran permukaan hidraulisnya (h_r).

Kekasaran hidraulis permukaan material dihitung berdasarkan ratio luas permukaan basah dengan luas proyeksinya yaitu:

$$h_r = AB/AP$$

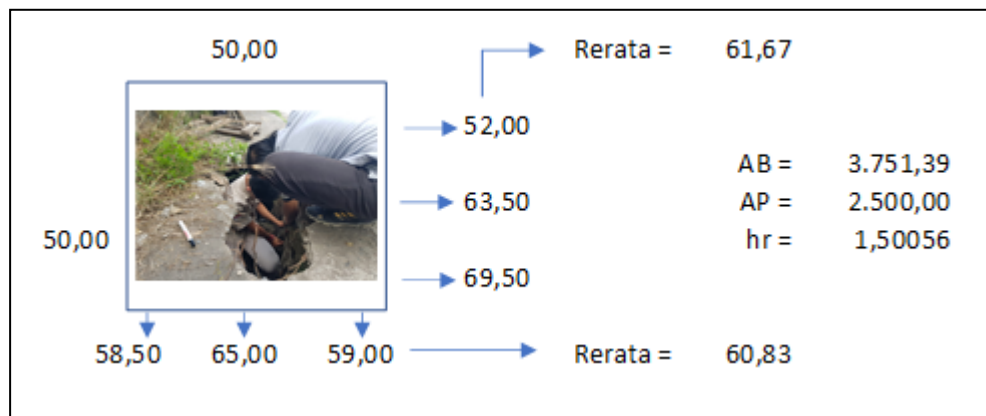
dimana:

h_r = kekasaran hidraulis permukaan saluran

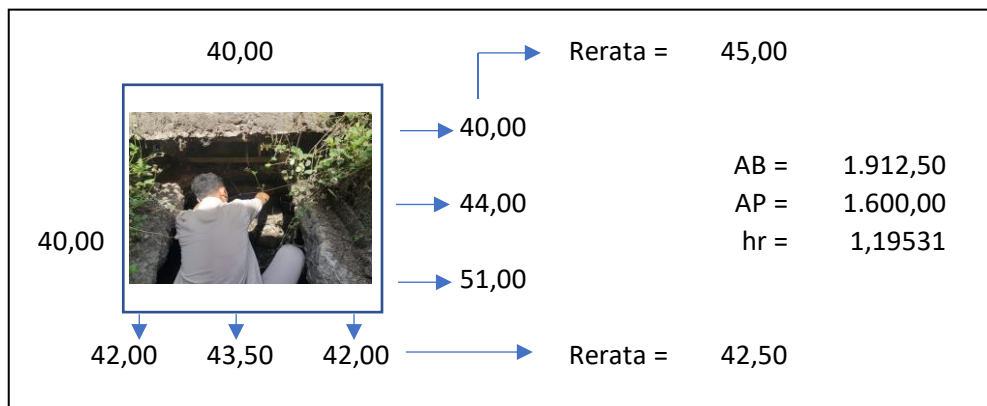
AB = luas permukaan basah penampang saluran

AP = luas proyeksinya.

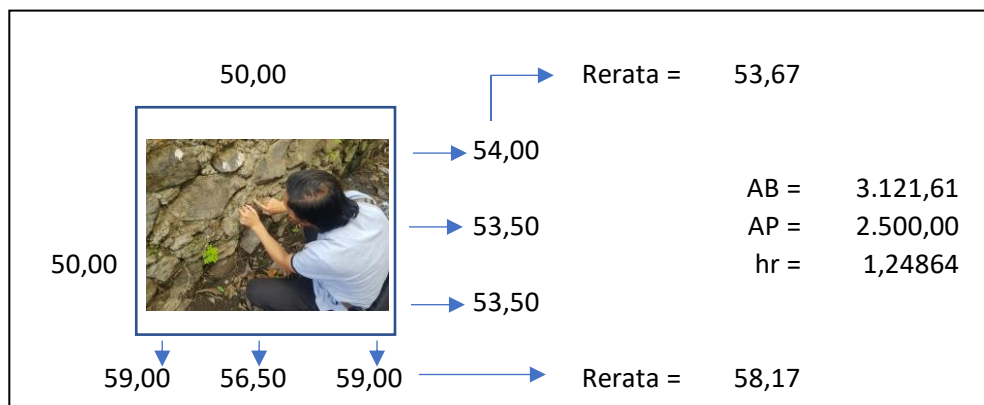
Pengukuran AB dilakukan menggunakan lintasan benang basah (seperti mengukur volume pekerjaan style Bali) pada bidang datar (bidang proyeksi) dengan ukuran 50 cm x 50 cm, seperti Gambar berikut:



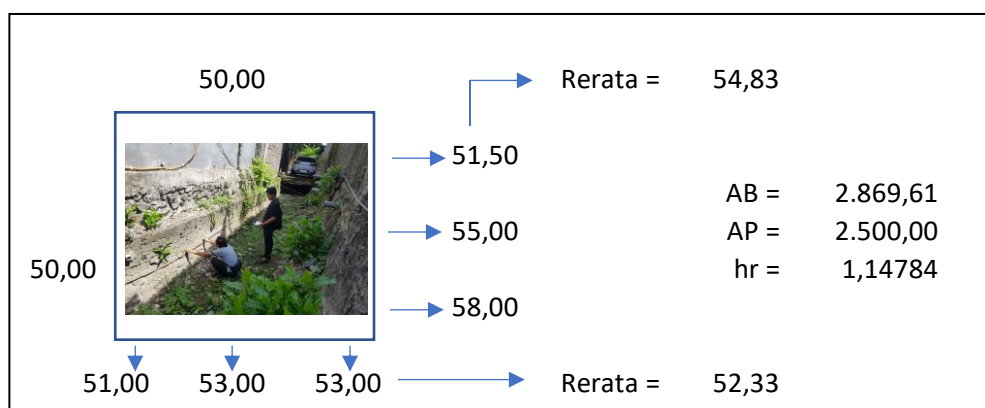
Gambar 3.12. Pengukuran AB dan AP pada saluran Tertutup Jalan Bumi Ayu



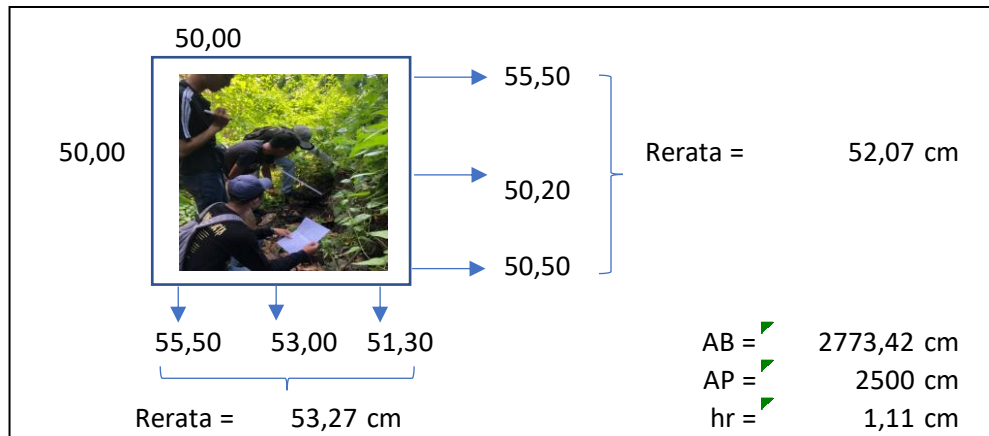
Gambar 3.13. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu



Gambar 3.14. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Ayu Tengah



Gambar 3.15. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Hilir 1



Gambar 3.16. Pengukuran AB dan AP Pada Saluran Jalan Bumi Hilir 2

Tabel 3.21. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Saluran (hr)

No	AB	AP	hr	Nama Kawasan
1	3.751	2.500	1,50056	Kawasan Bumi Ayu
2	1.913	2.500	1,1953	
3	3.122	2.500	1,2486	
4	2.870	2.500	1,1478	
5	2.687	2.500	1,0747	
6	2.645	2.500	1,0580	Kawasan Ujung Bypass
7	2.596	2.500	1,0383	
8	2.613	2.500	1,0452	Kawasan Belakang Proyek
9	2.773	2.500	1,1094	

Sumber: hasil analisis

Hasil padu padanan yang diusulkan (Suparta, 2023) adalah seperti Tabel 4.20 untuk referensi DPURI 1990 dan Tabel 4.21 untuk referensi Chow 1959.



Tabel 3.22. Hubungan n Dengan n Referensi DPURI 1990

No	Kategori	Hydraulic roughness (n)			n_0
1	Baik sekali	n	\leq	1,08349	0,017
2	Baik	1,08349	$< n \leq$	1,12464	0,020
3	Sedang	1,12464	$< n \leq$	1,16578	0,025
4	Jelek	1,20693	$< n$		0,030

Sumber: Suparta, 2023.

Tabel 3.23. Hubungan n Dengan n Referensi Chow 1959.

No	Kategori	Hydraulic roughness (n)			n_0
1	Min	n	\leq	1,09721	0,015
2	Normal	1,09721	$< n \leq$	1,15207	0,018
3	Max	1,15207	$> n$		0,030

Sumber: Suparta, 2023.

Berdasarkan Tabel 3.21. jika diasumsikan kondisi saluran baik sekali maka nilai $n = 0,017$ (nilai baik sekali diambil agar diperoleh hasil yang ekstrim untuk memudahkan mengambil kesimpulan).

Dengan demikian hasil perhitungan kapasitas saluran dilakukan sebagai berikut:

$$Q = 1,322191526 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$V = 0,91818856 \text{ m}/\text{dt}$$

$$A = 1,44 \text{ m}^2$$

$$P = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 0,423529412 \text{ m}$$

$$S = 0,000766038$$

$$n = 0,017 \text{ (Hr} = 1,07\text{)}$$



Dalam hal ini S dihitung berdasarkan hasil pengukuran lapangan sebagai berikut:



Gambar 3.17. Kemiringan Dasar Saluran (S)

Selisih elevasi jalan = 0,406 m

Panjang saluran $L = 530$ m

$S = 0,00076$

Sangat datar



Dari hasil analisis kapasitas saluran bahkan dengan memasukan nilai koefisien Manning yang paling kecil sekalipun diperoleh kapasitas saluran hanya sebesar 1,32 m³/dt.

3.4.5. Analisis Banjir

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya banjir pada suatu kawasan tertentu adalah sebagai berikut:

1. Curah hujan

Kesalahan memprediksi curah hujan atau terjadi hujan diluar perhitungan dapat menyebabkan banjir. Misalnya saluran didesain untuk menampung banjir Q₅ tetapi hujan yang terjadi adalah Q₁₀ maka saluran tidak akan mampu menampung limpasan air hujan tersebut sehingga terjadi banjir.

2. Kondisi tanah

Ada dua hal yang dari banjir yang berkaitan dengan tanah yaitu:

a. Tidak dapat menyerap air

Jika terjadi hujan pada permukaan tanah maka sebagian air hujan akan diserap masuk kedalam tanah (infiltrasi) dan sebagian akan mengalir dipermukaan sebagai aliran permukaan (*surface run off*). Makin besar air yang masuk ke dalam tanah maka semakin kecil bagian yang mengalir dipermukaan tanah, demikian sebaliknya. Jika permeabilitas tanah rendah maka peluang hujan menyebabkan banjir semakin tinggi.

b. Profil tanah datar

Kondisi tanah yang sangat datar akan membuat kecepatan aliran saluaran menjadi kecil sehingga debit yang mampu ditangani juga menjadi kecil. Jika Tanah tidak menyerap air maka air yang tergenang akan sulit surut. Berdasarkan hasil pengujian infiltrasi pada kawasan ini kondisi tanah boleh dikatakan tidak membantu mengatasi banjir. Beberapa penelitian dan juga perencanaan saluran di kawasan ini menentukan nilai C sebesar 95% artinya 95% dari air hujan yang jatuh dipermukaan akan menjadi aliran permukaan, atau tanah dan penguapan akan menyerap sebeasr 5% saja. Hal ini



terkonfirmasi dari hasil observasi dan wawancara dengan masyarakat dan pihak terkait terutama Dinas PU Kota Denpasar.

3. Kondisi atau material saluran

Kondisi saluran yang rusak akan menyebabkan kemampuannya juga menurun. Demikian juga jika penggunaan material yang tidak tepat juga akan mengurangi kemampuan saluran untuk mengalirkan air. Material dengan permukaan yang kedap dan halus akan mampu mengalirkan air lebih banyak dari material yang permukaannya kasar. Hal ini juga sangat relevan dengan teori dasar tentang gesekan. Permukaan yang kasar akan menyebabkan gaya gesekan antara air yang mengalir dengan permukaan saluran akan semakin besar sehingga kecepatan aliran menjadi berkurang (Suparta, 2020).

4. Perilaku Masyarakat

Sangat jarang diperhitungkan bahwa perilaku masyarakat berpengaruh terhadap terjadinya banjir. Suparta (2005) meneliti pengaruh perilaku masyarakat terhadap banjir di Kota Denpasar dan menemukan bahwa banjir pada saluran sekunder di Kota Denpasar 56% dipengaruhi oleh perilaku masyarakat dalam hal membuang sampah.

Jadi banjir akan terjadi jika debit air hujan lebih besar dari kapasitas saluran. Analisis Debit banjir dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan waktu konsentrasi dan kala ulang

Waktu konsentrasi dan kala ulang banjir dihitung menggunakan *Intensity Duration Frekwenscy* (IDF) seperti pada Tabel 3.23.

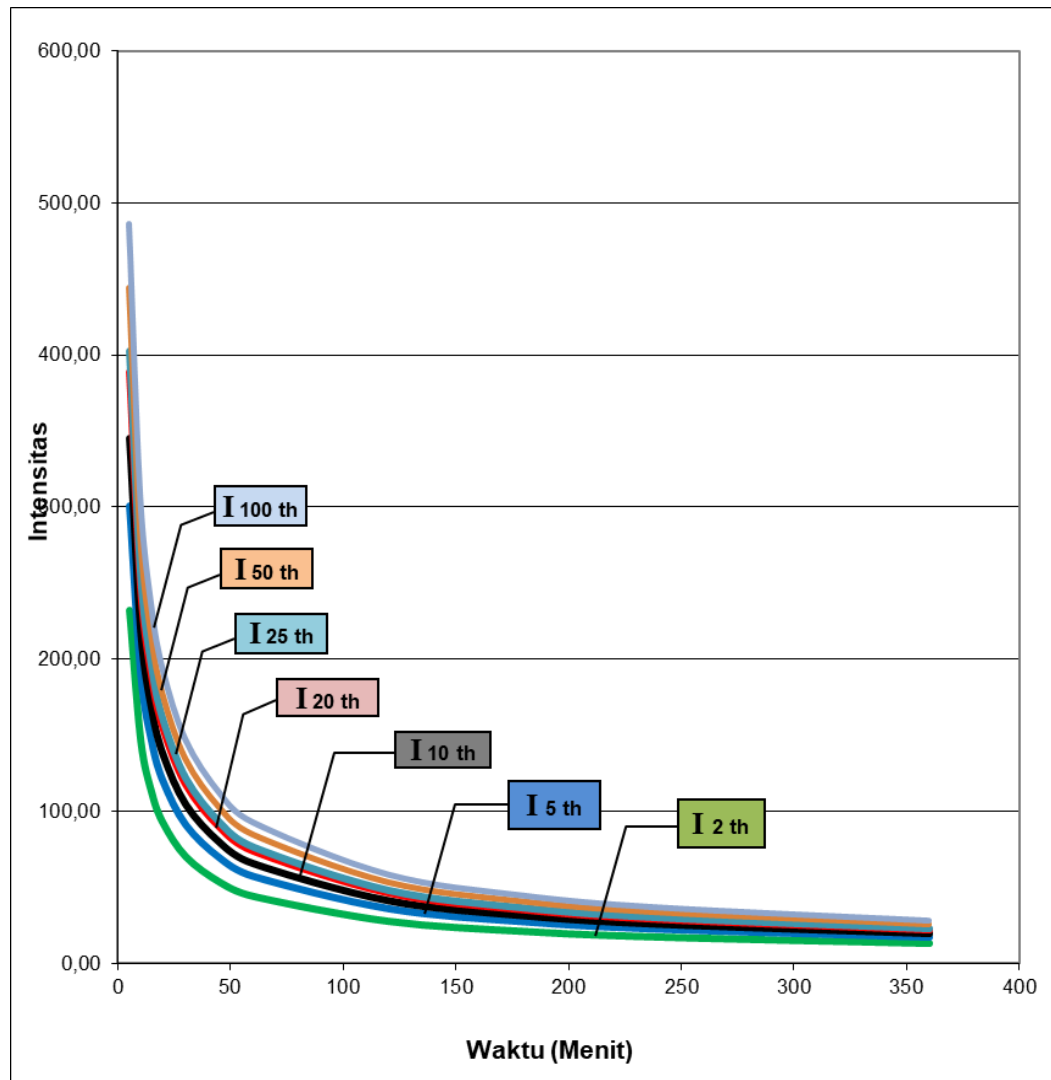


Tabel 3.24. Waktu Konsentrasi dan Periode Ulang Banjir

No.	Waktu (Menit)	Periode Ulang						
		2	5	10	20	25	50	100
1	5	232,54	300,48	345,47	388,63	402,31	444,48	486,34
2	10	146,49	189,29	217,63	244,82	253,44	280,01	306,38
3	15	111,79	144,46	166,09	186,83	193,41	213,69	233,81
4	20	92,28	119,25	137,10	154,23	159,66	176,39	193,00
5	30	70,42	91,00	104,63	117,70	121,84	134,61	147,29
6	45	53,74	69,45	79,85	89,82	92,98	102,73	112,40
7	60	44,36	57,33	65,91	74,14	76,76	84,80	92,79
8	120	27,95	36,11	41,52	46,71	48,35	53,42	58,45
9	180	21,33	27,56	31,69	35,64	36,90	40,77	44,61
10	240	17,61	22,75	26,16	29,42	30,46	33,65	36,82
11	360	13,44	17,36	19,96	22,45	23,25	25,68	28,10

Sumber: hasil analisis

Selanjutnya dibuat kurfa IDF sebgai berikut:



Gambar 3.18. Grfik IDF (hasil analisis)

Debit banjir dihitung menggunakan formula rational yaitu:

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

Dimana:

Q = Debit banjir (m³/dt) sesuai dengan kala ulang

C = koefsien run off

I = intensitas curah hujan (mm/jam-IDF)

A = luas tangkapan hujan (km²)



Kala ulang banjir ditentukan berdasarkan tipologi kota dan luas tangkapan hujan sebagai berikut:

Tabel 3.25. Kala Ulang berdasarkan Tipologi Kota dan Luas Pengaliran

Tipologi Kota	Catcment Area (Ha)			
	< 10	10 - 100	100 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn	10 - 25 thn
Kota Besar	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 20 thn
Kota Sedang / Kecil	2 thn	2 - 5 thn	2 - 5 thn	5 - 10 thn

Sumber: Permen PUPR No. 12 Tahun 2014.

Tabel 3.26. Tahun Periode Ulang

Luas <i>Catchment Area</i> (km ²)	Tahun Periode Ulang (tahun)
Kurang dari 0,1	1
0,1 – 1,0	2
1,0 – 5,0	5
Lebih dari 5,0	10

Sumber: JICA(Japan International Cooperation Agency) tahun 2000

Berdasarkan Tabel 4.24. dan Tabel 4.25. Kala ulang banjir rencana periode ulang banjir yang paling rasional sebagai dasar merencanakan besarnya debit pada saluran drainase di pada Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali, adalah dengan periode ulang 5 tahun.

Sedangkan waktu konsentrasi banjir yaitu:

$$T_c = T_o + T_d$$

Dimana:

T_c = waktu konsntrasi

T_o = waktu yang dibutuhkan oleh air hujan yang jatuh dipermukaan tanah (pada titik terjauh dari saluran) untuk mengalir sampai dengan saluran.

T_d = waktu yang dibutuhkan oleh air yang mengalir di dalam saluran sampai dengan titik yang ditinjau.

Selajutnya t_c dihitung sebagai berikut:



Tabel 3.27. Waktu Konsentrasi

No.	Lokasi	to men.	td men.	tc men.	Intens. C hujan mm/jam	Chatmen Area km2	Koef. C	Debit Rencana m3/dt	Periode Ulang thn
1		79,34		20,00	71,47	0,06	0,95	1,160	Q5
2	Pert. Jln. Bumi Ayu- Pungutan 1	102,87		122,87	32,14	0,23	0,95	1,948	Q5
3	Jln. Bumi Ayu-Perempatan Bumi Ayu III dan IV	49,17		172,04	-310,18	0,29	0,95	-23,922	Q5
4	Jln. Bumi Ayu-Perempatan Gg. Mawar dan Gg. Anggrek	50,81		18,00	124,90	0,37	0,95	12,143	Q5
5	Jln. Bumi Ayu-Perempatan Gg. Jasmine	172,44		20,00	119,25	0,45	0,95	14,283	Q5
6	Ujung Gg. Padma Bumi Ayu	28,56		25,00	81,35	0,46	0,95	9,834	Q5
7	Saluran Bumi Ayu Tanah Kosong, Jln. Pungutan	71,72		28,00	96,65	0,56	0,95	14,259	Q5
8	Saluran Bumi Ayu-Bypass Ngrah Rai	167,38		360,00	17,36	2,62	0,95	12,018	Q5
Total Chatment Area						2,621	km2		

Sumber: hasil analisis

3.4.6. Analisis Penanganan Banjir

Penanganan banjir di Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Provinsi Bali dimulai dari mengenali penyebabnya. Dari beberapa penyebab banjir seperti diuraikan di atas, hanya penyebab yang dapat dirubah (yang dapat direkayasa) saja yang akan diberikan perlakuan. Sedangkan penyebab diluar kemampuan manusia (given) tidak akan diberi perlakuan (engineering). Dalam hal ini termasuk dalam penyebab given adalah curah hujan, yang tidak mungkin dapat direkayasa untuk dikurangi atau diatur. Sedangkan penyebab yang masih mungkin diberi perlakuan adalah infiltrasi dan kapasitas saluran.

Metode sederhana penanganan banjir pada suatu kawasan tertentu adalah dengan cara mengurangi aliran air hujan ke dalam saluran (mengurangi surface run off) atau mengurangi beban saluran dan atau menambah kemampuan saluran untuk mengalirkan air banjir sebagai berikut:

1. Mengurangi beban saluran.



Mengurangi beban saluran artinya adalah mengurangi volume air hujan yang mengalir ke dalam saluran dengan satuan waktu tertentu. Hal ini dapat dilakukan dengan cara: menambah waktu pengaliran dan atau memasukan sebagian air hujan ke dalam tanah (infiltrasi). Menambah waktu pengaliran dapat dilakukan dengan cara membuat tandon-tandon (kolam detensi) agar air hujan parkir sementara lalu mengalir ke saluran setelah waktu yang ditentukan atau waduk retensi yaitu air ditampung sementara sambil juga diresapkan ke dalam tanah lalu dialirkan ke dalam saluran sesuai waktu yang diinginkan. Sedangkan untuk memasukan air kedalam tanah dapat dilakukan dengan cara membuat sumur resapan (drainase vertical) dan membuat kolam detensi.

Memasukan air kedalam tanah berupa sumur infiltrasi sangat tidak disarankan karena kapasitas infiltrasi tanah sangat kecil. Secara teknis lebih memungkinkan membuat kolam detensi. Permasalahannya adalah lahan untuk kolam retensi maupun kolam detensi sangat sulit untuk diperoleh pada kawasan ini.

2. Menambah Kapasitas

Karena kapasitas saluran adalah:

$$Q = A \cdot V$$

Dimana:

Q = kapasitas saluran

A = luas penampang saluran

V = kecepatan saluran

Maka menambah kapasitas (Q) saluran dapat dilakukan dengan beberapa cara memperbesar luas penampang (A) dan atau memperbesar kecepatan aliran (V) di dalam saluran sebagai berikut:

a. Memperbesar penampang luas penampang saluran (A).

Luas penampang saluran merupakan fungsi dari lebar saluran (B) dan kedalam saluran (H). Luas penampang saluran secara umum adalah:

$$A = B \times H \text{ untuk saluran persegi dan}$$

$$A = 2(B+mH) \text{ untuk saluran trapesium}$$

Dimana:

B = lebar saluran



H = tinggi (kedalaman) saluran

m = kemiringan dinding saluran

Maka memperbesar A dapat dengan cara menambah B dan atau H, sedangkan m adalah untuk membuat penampang saluran menjadi optimal (Suripin, 2003) menambah B artinya adalah memperlebar, dan memperbesar H tidak lain adalah memperdalam saluran. Memperbesar B sangat masuk akal tetapi membutuhkan lahan yang cukup sedangkan lahan yang ada relatif sangat sempit alias menambah B hanya dapat dilakukan dalam skala terbatas. Menambah H dapat menyebabkan pengurangan S (kemiringan dasar saluran) karena medannya yang sangat datar, sehingga ada peluang mubasir. Jadi dalam kasus Jalan Bumi Ayu keduanya harus dilakukan tetapi harus memperhatikan dampak ikutanya.

b. Memperbesar V

Karena $V = 1/n \cdot S^{1/2} \cdot R^{2/3}$

Dimana:

V = kecepatan aliran di dalam saluran

n = koefisien kekasaran Manning (tergantung pada bahan dan mutu pengerjaanya)

S = kemiringan dasar aluran

R = radius hidraulis

$R = A/P$

A = penampang hidraulis

P = keliling hidraulis

Maka memperbesar V dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

- Mengurangi n

Mengurangi n dapat dilakukan dengan cara memilih material dan membuat metode kerja dan pengawasan pekerjaan oleh personil yang memahami konsep serta memiliki kredibilitas tinggi.

- Menambah S dan R



Menambah R berkaitan dengan menambah B dan H (sudah otomatis mengikuti penentuan B dan H) sedangkan menambah S dapat dilakukan dengan menurunkan *downstream*. Tetapi menurunkan downstream pada kasus ini akan menimbulkan tangga aliran (lompatan) satu-satunya mengatasi lompatan atau tangga aliran adalah dengan tekanan negatif dan tekanan negatif hanya dapat dilakukan dengan sistem pompa.

Dengan demikian penanganan banjir di Kawasan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar, hanya dapat dilakukan dengan sistem pompa. Perlu diketahui bahwa sistem pompa membutuhkan lahan untuk pompa dan panelnya. Keterbatasan lahan harus dipilih jenis pompa yang hemat lahan dalam hal ini menggunakan pompa booster. Masalahnya adalah pompa booster untuk banjir belum teruji di Indonesia.



BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan.

Permasalahan drainase di Kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar adalah:

1. Kondisi saluran eksisting

Kondisi saluran eksisting sebagian sudah rusak (jebol) dan dimensinya tidak memadai sebagai saluran banjir. Serta dimensinya kurang memadai perlu penanganan secara menyeluruh.

2. Kapasitas saluran eksisting

Kapasitas saluran eksisting sangat kecil terutama akibat dimensi dan kemiringan dasar saluran. Perlu dilakukan penambahan dimensi saluran.

3. Data Curah Hujan

Data curah hujan yang berpengaruh untuk kawasan ini adalah: data curah hujan dari Sta Nurah Rai, Sta. Sanglah dan Sta. Sumerta. Hasil uji konsistensi data hujan menunjukkan bahwa secara umum hujan masih dalam kondisi normal.

4. Idebit Banjir

5. Potensi infiltrasi (kemungkinan penerapan drainase vertikal),

Hasil uji infiltrasi dan dikonfirmasi dengan pengambilan sample jenis tanah, wawancara dan observasi, menunjukkan bahwa potensi infiltrasi tanah pada kawasan Jalan Bumi Ayu, Kelurahan Sanur, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar adalah sangat kecil, yaitu tidak lebih dari 5%. Dengan demikian penerapan drainase vertikal atau sumur resapan tidak disarankan.

6. Mengatasi masalah banjir

Untuk mengatasi masalah banjir pada kawasan ini dapat dilakukan dengan cara membuat kolam detensi (jika lahan dapat diusahakan) dan sistem pompa booster (karena ketersediaan lahan untuk rumah pompa dan penelnya sangat terbatas).



4.2. Saran.

Untuk mengatasi masalah banjir di Kawasan Bumi Ayu harus dilakukan secara terintegrasi yaitu adanya keterpaduan antar semua bidang khususnya:

1. Koordinasi Bina Marga dengan SDA

Koordinasi antar Bina Marga dengan SDA sangat diperlukan dalam kaitanya dengan membuat desain jalan dan drainase. Bahkan sebaiknya desain drainase juga disertakan dengan desain perkerasan jalan. Diperlukan disainer yang kompeten di dua bidang tersebut sekaligus. Pelaksanaan pembangunan khususnya drainase agar disupervisi oleh personel yang tepat dan berintegritas.

2. Koordinasi dengan pihak lingkungan

Pembuatan kolam detensi perlu dikaji secara lebih mendalam terutam berkaitan dengan ketersediaan lahan.



DAFTAR PUSTAKA

Anon. Banjir di Jalan Bumi Ayu, Sanur, Bali 15/2/2023, <https://www.youtube.com/shorts/HaCZxxVjuhQ>

Bahtiar. 2022. Perbedaan Karakteristik Sebaran Spasial Hujan di Kabupaten Jember Menggunakan Metode Inverse Distance Weighted (IDW) dan Poligon Thiessen <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/BIP/article/view/34423>

Chow, V.T., 1959, Open Channel Hydraulic, halaman 110-113, McGraw-Hill Claiss Texbook Reissue Series, 1988; <http://heidarpour.iut.ac.ir>.

Irawan. 2012. Korelasi Permeabilitas Berdasarkan Ukuran Butiran dan Plastisitas Tanah. https://repository.unri.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/1258/Hendra%20Irawan_0707131962.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pasaribu. Perbandingan Teknik Interpolasi DEM SRTM Dengan Inverse Distance Weighted (IDW) Natural Neighbor dan Spline. https://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/1787

Purwo Hadiwidjono. 1998. Peta Geologi Lembar Bali. Sistem Informasi Wilayah dan Tata Ruang Bali. <https://tarubali.baliprov.go.id/peta-geologi/>

Kesuma. 2020. Analisis Kapasitas Saluran Drainase dan Penanganan Banjir Bumi Ayu. <http://sojs.unud.ac.id/index.php/jitsart/download/6328839052>

Soemarto, CD. 1987. Hidrologi Teknik, Usaha Nasional, Surabaya.

Suparta. 2014. Studi Pemilihan Material Untuk Optimalisasi Kapasitas Saluran Drainase Pangkung Muding Pada Kawasan Padat Penduduk di Kota Denpasar, Semnas II 2014.

Suparta. 2018. Menentukan Koefisien Kekasaran Manning (n) Pasangan Batu Dengan Finishing (Siaran) Berdasarkan Kuantifikasi Kekasaran Hidraulis, PIT HATHI 35 Medan 2018

Suparta. 2020. Analisis Hubungan Antara Kekasaran Permukaan Bahan Dasar Saluran Dengan Koefisien Kekasaran Manning, ITS Disertasi, 2020.

Suparta. 2023. Mampadupadankan Kreteria Subjektif Kualitas Pekerjaan Dengan Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan Pasangan Batu dan Relasinya



Dengan Koefisien Kekasaran Manning (Studi Kasus Saluran Drainase di Kota Denpasar Provinsi Bali. PIT HATHI ke 40 2023 Bandar Lampung.

Suripin. 2003. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Andi Yogyakarta