



**ANALISA REDUKSI DEBIT SALURAN DENGAN PENERAPAN RAIN
WATER HARVESTING MENGGUNAKAN APLIKASI EPA SWMM 5.1
DI PERUMAHAN SUKOLILO DIAN REGENCY
KOTA SURABAYA**

SKRIPSI

KONSENTRASI SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR

Digunakan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

AHMAD SOFRYAN AJITAMA

NIM. 125060400111022

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI, TESIS, ATAU DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 27 September 2017

Mahasiswa,

Materai Rp 6.000,-

Nama : Ahmad Sofryan Ajitama

NIM : 125060400111022

Jurusan: Teknik Pengairan

Teriring ucapan terima kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta



RINGKASAN

Ahmad Sofryan Ajitama, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, September 2017, Analisa Reduksi Saluran Dengan Penerapan *Rain Water Harvesting* Menggunakan Aplikasi EPA SWMM 5.1 Di Perumahan Sukolilo Dian Regency Kota Surabaya, Dosen Pembimbing : Sumiadi dan Riyanto Haribowo.

Perumahan Sukolilo Dian Regency merupakan salah satu pengembang di wilayah Kecamatan Sukolilo yang membangun perumahan dengan cara menimbun lahan sehingga mengubah penggunaan lahan dari daerah tambak (tampung sementara) menjadi daerah limpasan. Yang tentunya akan berdampak pada permasalahan banjir disekitarnya.

Penerapan *rain water harvesting* pada lokasi studi merupakan langkah yang cukup baik dilihat dari kondisi perumahan yang padat penduduk serta minimnya lahan yang ada untuk pelebaran saluran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas saluran drainase eksisting, mengetahui lokasi penempatan dan dimensi struktur *rain water harvesting* yang sesuai dengan perumahan sukolilo dian regency serta mengetahui prosentase reduksi debit limpasan hujan pada lokasi penelitian.

Untuk menganalisanya, dilakukan pemodelan limpasan hujan kala ulang 5 tahun menggunakan instrumen *Storm Water Management Model 5.1* (SWMM 5.1) dengan membandingkan kondisi jaringan drainase sebelum dan sesudah penerapan *rain barrel* dan *ground water tank*.

Hasil simulasi hujan rancangan, menggunakan data curah hujan jam-jaman yang diperoleh dari stasiun penakar Keputih selama 20 tahun (1993 – 2012).

Perhitungan intensitas hujan menggunakan metode Mononobe, diperoleh intensitas hujan durasi 1 jam dengan kala ulang 5 tahun sebesar 37.221 mm/jam. Untuk kalibrasi model, data curah hujan dan debit outlet menggunakan hasil pengamatan pada tanggal 15 November 2016. Hasil kalibrasi model menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) antara debit pemodelan dengan debit terukur sebesar 1.7%. Hasil simulasi menunjukkan kapasitas saluran drainase eksisting tidak mampu menampung hujan kala ulang 5 tahun, mengakibatkan genangan di 26 titik. Prosentase reduksi debit aliran pada setiap saluran akibat penerapan *rain water harvesting* pada sistem drainase di lokasi studi sangat bervariasi mulai dari 1.01 % hingga 63.57 %. Sedangkan reduksi debit puncak pada outlet saluran sekunder Perumahan Sukolilo Dian Regency mencapai 20.42 % pada saluran sekunder 2. Penerapan *rain water harvesting* juga berdampak pada saluran sekunder 3 terbukti dari reduksi debit yang dihasilkan sebesar 13.44 %.

Kata Kunci : *rain water harvesting*, debit limpasan hujan, pemodelan, kalibrasi, SWMM

[illegible]



SUMMARY

Ahmad Sofryan Ajitama, Department of Water Recourses Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, September 2017, *Analysis Reduction Of Discharge Channel With The Application Of Rain Water Harvesting Use Software EPA SWMM 5.1 In Sukolilo Dian Regency Surabaya City*, Academic Supervisor: Sumiadi and Riyanto Haribowo.

Sukolilo Dian Regency housing is one of the developers in the Sukolilo sub-district that builds housing by hoarding the land to change the land use from the pond area (temporary storage) into the runoff area. It will have an impact on surrounding flooding problems.

The application of rain water harvesting at the study site is a good step according to the densely populated housing conditions and the lack of land available for widening the canals. This study aims to determine the capacity of existing drainage channels, to know the location of the placement and the dimensions of rain water harvesting structure in accordance with the sukolilo dian regency and knowing the percentage of rainfall runoff reduction in the research location.

To analyze it, a 5-year re-run rainfall model was modeled using Storm Water Management Model 5.1 (SWMM 5.1) by comparing the drainage network conditions before and after the application of rain barrel and ground water tank.

The simulated rainfall design results, using rainfall data hourly obtained from the Keputih Talon station for 20 years (1993 - 2012). Calculation of rain intensity using Mononobe method, obtained by rain intensity duration 1 hour with re-time 5 year equal to 37.221 mm / hour. For model calibration, rainfall data and discharge outlet using observation result on November 15, 2016. The model calibration result shows Root Mean Square Error (RMSE) value between the modeling debit with the measured discharge of 1.7%. The simulation result shows that the existing drainage capacity can not accommodate the rain when the reset is 5 years, resulting in a puddle at 26 points. The percentage of flow rate reduction in each channel due to the application of rain water harvesting on the drainage system at the study site varies from 1.01% to 63.57%. While the reduction of peak discharge at the secondary channel outlet Sukolilo Dian Regency housing reached 20.42% in the secondary channel 2. Application of rain water harvesting also impact on secondary channel 3 proven from the reduction of the resulting debit by 13.44%.

Keywords: rain water harvesting, rainfall runoff, modeling, calibration, SWMM



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Harga K_n untuk Pemeriksaan Uji Outliner	8
Tabel 2.2.	Nilai $Q/n^{0.5}$ dan $R/n^{0.5}$	10
Tabel 2.3.	Penentuan Kala Ulang Banjir Pada Perencanaan Bangunan Air.....	12
Tabel 2.4.	Nilai C_s Positif Distribusi Log Person III	14
Tabel 2.5.	Nilai C_s Negatif Distribusi Log Person III.....	15
Tabel 2.6.	Harga D Kritis Uji Smirnov-Kolmogorov.....	16
Tabel 2.7.	Harga Kritis Untuk Distribusi Chi-Square (X^2).....	17
Tabel 2.8.	Bentuk Penampang Saluran Terbuka dan Tertutup.....	30
Tabel 3.1	Kecamatan di Kota Surabaya	36
Tabel 3.2	Rincian Tata Guna Lahan Pada Perumahan Sukolilo Dian regency.....	37
Tabel 3.3.	Langkah-langkah Pengerjaan Studi.....	41
Tabel 4.1.	Data Sub Daerah Tangkapan Air	46
Tabel 4.2.	Rekapitulasi Data Geometri Saluran	47
Tabel 4.3.	Perhitungan Kalibrasi Metode RMSE.....	53
Tabel 4.4.	Pemeriksaan Uji Outliner Stasiun Hujan Keputih.....	54
Tabel 4.5.	Pemeriksaan Uji RAPS Pada Stasiun Hujan Keputih.....	55
Tabel 4.6.	Perhitungan Analisa Distribusi Hujan	56
Tabel 4.7.	Perbandingan Kesesuaian Hasil Analisa Distribusi Terhadap Pemakaian Distribusi Frakuensi.....	57
Tabel 4.8.	Hujan Maksimum yang Sudah Diurutkan	58
Tabel 4.9.	Perhitungan Log Person III	59
Tabel 4.10.	Perhitungan Uji Smrnov-Kolmogorov	61
Tabel 4.11.	Perhitungan Nilai Batas	62
Tabel 4.12	Perhitungan Uji Chi-Square	63
Tabel 4.13.	Hubungan Intensitas Hujan-Waktu Kala Ulang 5 Tahun.....	64
Tabel 4.14.	Limpasan Permukaan Per Sub Daerah Tangkapan Air (<i>Subcatchment</i>)... ..	65
Tabel 4.15.	Simulasi Debit Limpasan Saluran Kondisi Eksisting Kala Ulang 5 tahun	66
Tabel 4.16.	Jumlah <i>Unit Rain Barrel</i> tiap <i>Subcatchment</i>	74
Tabel 4.17.	Jumlah <i>Ground Water Tank</i> tiap <i>Subcatchment</i>	75



Tabel 4.18. Simulasi Debit Limpasan Saluran dengan Penerapan <i>Rain Water Harvesting</i> Kala Ulang 5 tahun.....	79
Tabel 4.19. Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 1 dengan Penerapan <i>Rain Water Harvesting</i> Kala Ulang 5 tahun.....	83
Tabel 4.20. Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 2 dengan Penerapan <i>Rain Water Harvesting</i> Kala Ulang 5 tahun.....	83
Tabel 4.21. Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 3 dengan Penerapan <i>Rain Water Harvesting</i> Kala Ulang 5 tahun.....	84
Tabel 4.22. Rekapitulasi Pengaruh Penerapan Metode <i>Rain Water Harvesting</i> Terhadap Debit Limpasan Saluran.....	85
Tabel 4.23. Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 1	92
Tabel 4.24. Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 2	93
Tabel 4.25. Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 3.....	95
Tabel 4.26. Jumlah Volume Air Dan Volume Struktur <i>Rain Water Harvesting</i> Pada Tiap Saluran Sekunder.....	97
Tabel 4.27. Harga Satuan Material Pengadaan Tandon (<i>Rain Barrel</i>).....	98
Tabel 4.28. Analisa harga Satuan Pemasangan Pipa Tandon.....	98
Tabel 4.29. Analisa harga Satuan Pekerjaan Galian.....	99
Tabel 4.30. Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pengurukan Pasir.....	99
Tabel 4.31. Analisa harga Satuan Pemnuatan lapisan Beton.....	99
Tabel 4.32. Analisa harga Satuan Pekerjaan Pemasangan Dinding Bata	100
Tabel 4.33. Analisa harga Satuan Pekerjaan Plesteran halus.....	100
Tabel 4.34. Analisa harga Satuan Pekerjaan Acian.....	101
Tabel 4.35. Analisa harga Satuan Pembuatan Plat Penutup	101
Tabel 4.36. Harga Satuan Material Pengadaan Pompa.....	101
Tabel 4.37. Rencana Anggaran Biaya Pembuatan <i>Rain Barrel</i>	102
Tabel 4.38. Rincian Rencana Anggaran Biaya Pembangunan <i>Ground Water Tank</i> luas 9 m ²	102
Tabel 4.39. Rincian Rencana Anggaran Biaya Pembangunan <i>Ground Water Tank</i> luas 16 m ²	103
Tabel 4.40. Rencana Anggaran Biaya Penerapan <i>Rain Water Harvesting</i>	103



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Area Tangkapan Air Hujan.....	22
Gambar 2.2	Talang Air.....	22
Gambar 2.3	Tempat Penampung Air Hujan (<i>Reservoir</i>).....	23
Gambar 2.4	Komponen Bagian-bagian Pemanen Air Hujan.....	23
Gambar 2.5	Sistem Plumbing Pemanfaatan Air Hujan pada Perumahan Sumber.....	24
Gambar 2.6	Tangki Air Hujan di Atas Permukaan Tanah.....	25
Gambar 2.7	Tangki Air Hujan Terletak di Bawah Tanah.....	25
Gambar 2.8	Sistem 3 Tangki Penampung Air Hujan yang Saling Terhubung.....	26
Gambar 2.9	Tangki Air Hujan di Berbagai Wilayah di Indonesia.....	26
Gambar 2.10	Halaman kerja program SWMM.....	27
Gambar 2.11	Konsep Aliran permukaan pada Aplikasi EPA SWMM.....	31
Gambar 3.1	Peta Administratif Kota Surabaya.....	35
Gambar 3.2	Lokasi Kecamatan Sukolilo.....	37
Gambar 3.3	Lokasi Kelurahan keputih.....	38
Gambar 3.4	Lokasi Perumahan Sukolilo Dian Regency.....	38
Gambar 3.5	Lokasi Stasiun Hujan.....	39
Gambar 3.6	Skema arah aliran di kawasan perumahan Sukolilo Dian Regency.....	40
Gambar 3.7	Diagram Alir Pemodelan Dengan EPA SWMM Versi 5.1.....	41
Gambar 3.8	Diagram Alir Kalibrasi Pemodelan.....	43
Gambar 3.8	Diagram Alir Pengerjaan Studi.....	44
Gambar 4.1	Dimensi saluran berbentuk persegi (a) dan lingkaran (b).....	47
Gambar 4.2	Hasil penggambaran peta jaringan Drainase menggunakan program SWMM.....	52
Gambar 4.3	Perbandingan hidrograf debit observasi dengan debit simulasi.....	54
Gambar 4.4	Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J5 – Out1.....	71
Gambar 4.5	Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J18 – Out2.....	71



Gambar 4.6	Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J76 – Out3	72
Gambar 4.7	Dimensi <i>Rain Barrel</i>	72
Gambar 4.8	Tampilan perencanaan <i>rain barrel</i> di aplikasi EPA SWMM 5.1	73
Gambar 4.9	Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur <i>rain water harvesting</i> pada Outlet 1 pada Perumahan Sukolilo Dian Regenncy	77
Gambar 4.10	Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur <i>rain water harvesting</i> pada Outlet 2 pada Perumahan Sukolilo Dian Regenncy	78
Gambar 4.11	Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur <i>rain water harvesting</i> pada Outlet 3 pada Perumahan Sukolilo Dian Regenncy	78
Gambar 4.12	Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan <i>Rain Water Harvesting</i> Pada Outlet 1	89
Gambar 4.13	Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan <i>Rain Water Harvesting</i> Pada Outlet 2	89
Gambar 4.14	Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan <i>Rain Water Harvesting</i> Pada Outlet 3	90
Gambar 4.15	Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan <i>rain water harvesting</i> pada Simpul J5 – Out1	90
Gambar 4.16	Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan <i>rain water harvesting</i> pada Simpul J18 – Out2	91
Gambar 4.17	Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan <i>rain water harvesting</i> pada Simpul J76 – Out3	91
Gambar 4.18	Contoh pembagian luas hidrograf debit pada saluran sekunder 1 kondisi eksisting	96
Gambar 4.19	Contoh pembagian luas hidrograf debit pada saluran sekunder 1 kondisi penerapan <i>rain water harvesting</i>	97



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Gambar Profil Muka Air Saluran Saat Debit Puncak Pada Kondisi Eksisting.....	107
Lampiran 2	Gambar Profil Muka Air Saluran Saat Debit Puncak Pada Kondisi Penerapan Rain Water Harvesting.....	129
Lampiran 3	Dokumentasi Penelitian.....	151
Lampiran 4	Gambar Teknis.....	163



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat identik dengan bencana banjir, terlebih pada saat musim hujan. Hal tersebut dipengaruhi oleh iklim Indonesia yang merupakan iklim tropis yang hanya memiliki dua musim sehingga memiliki musim hujan yang cukup lama. Bencana banjir di Indonesia selalu terulang setiap tahunnya, dan mungkin malah cenderung meningkat, baik frekuensinya, luas daerah, maupun kedalamannya. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menuliskan bahwa bencana banjir merupakan bencana alam yang paling banyak terjadi di Indonesia.

Permasalahan banjir di Kota Surabaya sampai saat ini masih belum dapat ditangani secara maksimal walaupun dari pihak pemerintahan dan Dinas Bina Marga Kota Surabaya telah berupaya semaksimal mungkin untuk mengatasinya. Pertambahan jumlah penduduk yang tidak diiringi dengan meningkatnya fasilitas perkotaan menjadikan Kota Surabaya masih sering terkena bencana banjir setiap tahunnya.

Berkaitan dengan permasalahan tersebut, maka pemerintah Kota Surabaya menetapkan dalam peraturan bahwa bangunan yang akan didirikan di Kota Surabaya harus dilengkapi dengan rencana drainase.

Perumahan Sukolilo Dian Regency merupakan salah satu pengembang di wilayah Kecamatan Sukolilo yang membangun perumahan dengan cara menimbun lahan sehingga mengubah penggunaan lahan dari daerah tambak (tampungan sementara) menjadi daerah limpasan tentunya akan berdampak pada permasalahan banjir disekitarnya. Di samping itu kawasan yang akan digunakan sebagai wilayah perumahan terdapat beberapa saluran yang terkena dampak akibat pembangunan perumahan Sukolilo Dian Regency.

Berkaitan dengan hal tersebut diatas, dilakukan studi perencanaan *rain water harvesting* mengingat lokasi studi merupakan daerah perumahan yang hanya memiliki lahan yang sempit sehingga kurang efektif ketika melakukan pelebaran saluran maupun membuat saluran baru.

Pada kajian ini saya akan melakukan studi perencanaan sistem drainase yang menerapkan metode pemanen air hujan (*rain water harvesting*) pada daerah tersebut.



Seiring pesatnya kemajuan zaman, banyak sekali aplikasi pada komputer yang dapat digunakan untuk perencanaan. Salah satunya ialah EPA SWMM 5.1 yang merupakan *software* yang digunakan untuk perencanaan yang berhubungan dengan limpasan, sanitasi, dan sistem drainase perkotaan. Dalam studi tersebut, saya akan menggunakan aplikasi tersebut sebagai metode untuk merencanakan sistem drainase pada daerah tersebut. Semoga nantinya hasil dari kajian yang telah dilakukan dapat bermanfaat dan menjadi pertimbangan bagi pemerintahan Kota Surabaya untuk merencanakan sistem maupun saluran drainase pada daerah yang kerap kali terjadi bencana banjir.

1.2 Identifikasi Masalah

Daerah studi terletak di Daerah Pembangunan Perumahan Sukolilo Dian Regency Kecamatan Sukolilo Wilayah Surabaya Timur. Beberapa permasalahan yang terjadi saat ini ialah:

1. Terjadinya banjir akibat alih fungsi lahan pada kawasan pembangunan Perumahan Sukolilo Dian Regency dan di sekitar wilayah tersebut serta terjadinya curah hujan yang cukup besar.
2. Kondisi saluran drainase eksisting pada perumahan Sukolilo Dian Regency terkesan kurang memadai dikarenakan ukuran yang relatif kecil yang mengakibatkan lokasi sering terdapat genangan.

1.3 Rumusan Masalah

Untuk mempermudah dan memperjelas tujuan awal dari studi ini maka dibutuhkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi drainase eksisting pada Perumahan Sukolilo Dian Regency Kecamatan Sukolilo Kota Surabaya?
2. Bagaimana rencana lokasi, jumlah serta dimensi sistem *rain water harvesting* di Perumahan Sukolilo Dian Regency?
3. Berapa jumlah reduksi debit akibat penerapan *rain water harvesting* di Perumahan Sukolilo Dian Regency?

1.4 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil yang baik serta tidak keluar dari pokok pembahasan, maka dibuatlah batasan masalah sebagai berikut:



1. Studi dilakukan pada Perumahan Sukolilo Dian Regency Kecamatan Sukolilo Kota Surabaya.
2. Data curah hujan diambil dari stasiun hujan Keputih. Data hujan yang ada dari tahun 1993-2012.
3. Penentuan data untuk kalibrasi model dilakukan dengan melakukan pengamatan debit aliran saluran pada saat terjadinya hujan, mulai hujan turun hingga reda.
4. Pengukuran curah hujan jam-jaman untuk data kalibrasi dilakukan dengan pengukuran curah hujan sederhana di lokasi studi pada saat terjadi hujan.

1.5 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui kondisi drainase eksisting pada Perumahan Sukolilo Dian Regency Kecamatan Sukolilo Kota Surabaya.
2. Mengetahui rencana lokasi, jumlah serta dimensi sistem *rain water harvesting* di Perumahan Sukolilo Dian Regency.
3. Mengetahui jumlah reduksi debit akibat penerapan *rain water harvesting* di Perumahan Sukolilo Dian Regency.

1.6 Manfaat Studi

Manfaat yang didapat dari studi ini antara lain:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengambilan keputusan pemecahan permasalahan genangan di perumahan Sukolilo Dian Regency.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi masukan atau perbandingan bagi para peneliti yang melakukan penelitian yang sejenis.
3. Masukan bagi semua pihak terkait mengenai perencanaan sistem drainase berwawasan lingkungan pada lokasi daerah studi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Banjir adalah peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat (Sumber: Undang-undang nomor 24 tahun 2007). Jika dilihat akar permasalahan banjir di perkotaan terutama di Kota Surabaya berawal dari pertambahan penduduk yang sangat cepat, di atas rata-rata pertumbuhan nasional, akibat urbanisasi, baik migrasi musiman maupun permanen.

Pertambahan penduduk serta pembangunan terus menerus yang tidak diimbangi dengan sarana dan prasarana memadai mengakibatkan sistem drainase di perkotaan diabaikan, sehingga pada saat terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi terjadi genangan bahkan banjir. Di sisi lain masalah banjir Surabaya makin parah karena kondisi topografi, sifat tanah, tingginya curah hujan, meningkatnya pasang naik dan perubahan tata guna lahan yang ekstrim. Karena itulah masalah banjir patut diperhatikan dengan serius karena sangat mempengaruhi keberlanjutan Kota Surabaya.

2.2 Drainase

Drainase berasal dari bahasa inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tersebut tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah (Suripin, 2003:7). Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam



suatu konteks pemanfaatan tertentu (Halim Hasmar, 2012:1). Sementara itu, menurut Suhardjono (1984:1) drainase adalah suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak dibentuk berdasarkan analisis ilmu drainase, untuk menentukan debit akibat hujan, kecepatan resapan air dalam lapisan tanah dan dimensi saluran.

1. Menurut Letak Saluran

a. Drainase Muka Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open cannel flow*.

b. Drainase Bawah Tanah (*Sub Surface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media di bawah permukaan tanah (pipa-pipa) dikarenakan alasan-alasan tertentu.

2. Menurut Fungsi Drainase

a. *Single Purpose*

Saluran berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan saja.

b. *Multi Purpose*

Saluran berfungsi mengalirkan beberapa jenis buangan, baik secara bercampur maupun bergantian.

3. Menurut Konstruksi

a. Saluran Terbuka

Saluran untuk air hujan yang terletak di area yang cukup luas. Juga untuk saluran air non hujan yang tidak mengganggu kesehatan lingkungan.

b. Saluran Tertutup

Saluran untuk air kotor yang mengganggu kesehatan lingkungan. Juga untuk saluran dalam kota.

2.3 Analisa Hidrologi

Perencanaan saluran drainase, baik drainase perkotaan, pertanian maupun drainase pasang surut sudah pasti membutuhkan analisa hidrologi, karena dalam perencanaan saluran drainase, salah satu komponen utama yang harus diperhitungkan adalah jumlah air yang masuk ke saluran drainase, seperti air hujan dan limbah rumah tangga/industri. Data-



data tersebut dapat kita peroleh dengan analisa hidrologi, sehingga analisa hidrologi menjadi bagian penting dalam perencanaan saluran drainase.

Analisa ini diperlukan untuk menentukan jumlah air yang akan menambah besarnya debit buangan disamping jumlah air hujan di lokasi yang harus dibuang. Analisa-analisa itu meliputi (Suhardjono, 1984:6) :

1. Air Masuk (*inflow*)

Adalah air dari luar yang masuk atau melewati daerah pembangunan.

Terdiri dari :

- Jumlah hujan di daerah hulu

- Air buangan dari rumah-rumah penduduk

- Sumber-sumber air

2. Air Buangan

Air buangan berasal dari sarana dan prasarana perumahan.

3. Air Sedimen

Jumlah sedimen yang tersangkut dalam aliran perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi fungsi saluran. Besar kecilnya sedimen tergantung pada :

- Besar dan deras limpasan permukaan.

- Bentuk dan kemiringan permukaan tanah

- Jenis tanah

- Tanaman di permukaan tanah

- Bangunan-bangunan yang ada

2.3.1 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus betul-betul menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995:23). Data hujan disebut konsistensi berarti data yang terukur dan dihitung adalah teliti dan benar sesuai dengan fenomena saat hujan itu terjadi (Soewarno, 2000:199).



2.3.1.1 Metode Outliner

Uji data hujan dilakukan dengan metode Outliner. Outliner adalah data dengan nilai jauh berada di antara data-data yang lain, keberadaan outliner biasanya mengganggu pemilihan jenis distribusi untuk suatu sampel data. Rumus perhitungannya adalah :

$$X_H = \exp(\bar{X} + Kn.S) \quad (2-1)$$

$$X_L = \exp(\bar{X} - Kn.S) \quad (2-2)$$

dengan :

X_H = nilai ambang atas data

X_L = nilai ambang bawah data

$\bar{X}$ = nilai rata-rata data

S = standar deviasi data

Kn = koefisien untuk uji outliner

Dengan dua batas ambang bawah (X_L) dan atas (X_H), $\bar{X}$ dan S adalah masing-masing nilai rata-rata dan simpangan baku dari logaritma sampel data, Kn dapat dilihat pada tabel dimana n adalah jumlah sample.

Data yang nilainya di luar X_H dan X_L diklasifikasikan sebagai outliner. Untuk curah hujan dengan besaran 400 mm atau lebih diperiksa secara manual dengan kriteria sebagai berikut :

- Besaran hujan di pos yang diperiksa tidak jauh berbeda dengan besaran hujan di pos terdekat data bisa diterima.
- Besaran hujan di pos yang diperiksa di dalam series data bukan yang terbesar atau terkecil data bisa diterima.

Tabel 2.1 Harga Kn untuk Pemeriksaan Uji Outliner

n	Kn	N	n	Kn
10	2.036	27	44	2.719
11	2.088	28	45	2.727
12	2.134	29	46	2.736
13	2.175	30	47	2.744



Lanjutan Tabel 2.1

n	Kn	N	Kn	n	Kn
14	2.213	31	2.577	48	2.753
15	2.247	32	2.591	49	2.761
16	2.279	33	2.604	50	2.768
17	2.309	34	2.616	55	2.804
18	2.335	35	2.628	60	2.837
19	2.361	36	2.39	65	2.866
20	2.385	37	2.65	70	2.893
21	2.408	38	2.661	75	2.917
22	2.429	39	2.671	80	2.94
23	2.448	40	2.682	85	2.961
24	2.467	41	2.692	90	2.981
25	2.486	42	2.7	95	3.000
26	2.502	43	2.71	100	3.017

Sumber: U.S. Water Resources Council, 1991.

2.3.1.2 Metode RAPS

Data hujan yang diperoleh dan dikumpulkan dari institusi pengelolanya, perlu diuji kualitas data tersebut. Hal ini dikarenakan informasi yang diperoleh tentang masing-masing unsur tersebut mengandung ketidak telitian (*inaccuracy*) dan ketidak pastian (*uncertainty*) (Harto,1982:263).

Faktor-faktor yang menyebabkan rendahnya tingkat konsistensi data adalah :

- Stasiun pengukur hujan tertutup oleh rindangnya pepohonan.
- Stasiun pngukur hujan yang terletak berdekatan dengan gedung tinggi.
- Kesalahan pencatatan (*human error*).

Dengan alasan tersebut di atas maka perlu dilakukan uji konsistensi data dengan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Harto,1982). Metode ini digunakan untuk menguji ketidakpanggahan (*inconsistency*) data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri dengan mendekati nilai rata-rata (mean), untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam rumus, nilai statistik Q dan R



10

$$Q = \max |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \quad (2-3)$$

$$R = \max S_k^{**} - \min S_k^{**} \quad (2-4)$$

$$S_k^{**} = (X - \bar{X}) \quad (2-5)$$

$$Dy^2 = \frac{S_k^2}{n} \quad (2-6)$$

$$Dy = \sqrt{Dy^2} \quad (2-7)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \quad (2-8)$$

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai $Q/\sqrt{n}$ dan $R/\sqrt{n}$. Hasil yang di dapat dibandingkan dengan nilai $Q/\sqrt{n}$ syarat dan $R/\sqrt{n}$ syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

Tabel 2.2 Nilai $Q/n^{0.5}$ dan $R/n^{0.5}$

N	$Q/n^{0.5}$			$R/n^{0.5}$		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.48	1.4	1.5	1.7
40	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.5	1.62	1.85
500	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2

Sumber: Sri Harto, 1993:168

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai Q/n dan Rb/n . Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai Q/n syarat dan R/n syarat, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

2.3.2 Curah Hujan Daerah

Hujan sangat bervariasi dalam skala ruang dan waktu. Hujan dengan jumlah yang sama tidak jatuh secara seragam pada seluruh DAS. Curah hujan yang diperlukan untuk



penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata – rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah / daerah dan dinyatakan dalam mm.

Terdapat tiga cara yang digunakan untuk menghitung tinggi curah hujan daerah, yaitu (Suripin, 2004):

1. Rerata aljabar
2. Poligon *Thiessen*
3. Garis *Isohyet*

Penentuan atau pemilihan metode curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003):

1. Untuk dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh satu stasiun hujan.
2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 – 50,000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rerata aljabar.
3. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120,000 – 500,000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi kondisi topografi dapat menggunakan rerata aljabar. Namun, jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode *Thiessen*.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500,000 ha menggunakan metode *Isohyet* atau metode potongan antara.

2.3.3 Analisa Curah Hujan Rancangan

Dalam perencanaan ini hujan rancangan dipilih cara Log Pearson III (Soemarto, CD, 1995:125) dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data. Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut:

- a. Hujan bulanan maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
- b. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\overline{\text{LogX}} = \frac{\sum \text{LogXi}}{n} \quad (2-9)$$

- c. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :



12

$$Sd = \frac{\sum(\text{LogXi} - \overline{\text{LogX}})}{n-1} \quad (2-10)$$

d. Menghitung harga koefisien kemencengan dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum(\text{LogXi} - \overline{\text{LogX}})^3}{(n-1).(n-2)Sd^3} \quad (2-11)$$

e. Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{LogX} = \overline{\text{LogX}} + G.Sd \quad (2-12)$$

dengan :

Log x = Logaritma curah hujan rancangan.

Logx = Logaritma rerata curah hujan.

G = Koefisien frekuensi

Sd = Standar deviasi

f. Hitung antilog X untuk mendapatkan curah hujan maksimum dengan kala ulang yang dikehendaki.

Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan pedoman kriteria penetapan kala ulang banjir untuk perencanaan.

Tabel 2.3 Penentuan Kala Ulang Banjir Pada Perencanaan Bangunan Air

No.	Jenis Bangunan Air	Kala Ulang Banjir
		T (tahun)
1	Bendungan urugan tanah/batu (<i>earth/rockfill dam</i>)	1000
2	Bendungan beton/batu kali (<i>concrete dam/masonry</i>)	500-1000
3	Bendung (<i>weir</i>)	50-100
4	Saluran pengelak banjir (<i>flood diversion canal</i>)	20-50
5	Tanggul sungai	10-20
6	Drainasi saluran di sawah/permukiman	5-10

Sumber: Loebis (1984: 196)

2.3.4 Uji Kesesuaian Distribusi

Pengujian analisis curah hujan dilakukan dengan uji Smirnov-Kolmogorof maupun uji Chi-Square untuk mengetahui kesesuaian dari analisis curah hujan terhadap simpangan data vertikal dari plotting data curah hujan.



2.3.4.1 Uji Smirnov – Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui simpangan horisontal tersebar sebaran teoritis dan sebaran empiris. Simpangan horisontal ini dinyatakan dengan $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ (didapat dari tabel) untuk derajat nyata tertentu, disimpulkan hipotesa distribusi dapat diterima. Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujianya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

- Data curah hujan diurutkan dari kecil ke besar.
- Menghitung persamaan empiris dengan persamaan berikut (Sri Harto, 1981:179) :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2-13)$$

dengan:

P = Peluang (%)

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

- Mencari nilai G

$$G = \frac{(\text{Log}X_i - \text{Log}X)}{S} \quad (2-14)$$

dengan :

G = Koefisien Frekuensi

S = Simpangan Baku

- Mencari harga P_r dengan melalui tabel distribusi Log Pearson type III.

- Menghitung nilai $P(x)$

$$P(x) = 100 - P_r \quad (2-15)$$

- Menghitung Selisih $Sn(x)$ dan $P(x)$

$$Sn(x) = \text{peluang} \left(\frac{\text{ranking}}{\sum \text{data} + 1} \right) \quad (2-16)$$

- Bandingkan perbedaan terbesar dari perhitungan selisih terbesar (Δ_{maks}) dengan Δ_{cr} dari tabel Smirnov-Kolmogorof. Jika harga $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, maka penyimpangan masih dalam batas ijin, yang berarti distribusi hujan pengamatan sesuai dengan model distribusi teoritis.



Tabel 2.4 Nilai Cs Positif Distribusi Log Person III

Weighted SKEW COEFFICIENT	Recurrence Interval In Years							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
	Percent Chance ($\geq$) = 1-F							
Cw	99	50	20	10	4	2	1	0.5
3	-0.667	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.904
2.8	-0.714	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2	-0.990	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1	-1.588	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0	-2.326	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Sumber: Limantara, 2010



Tabel 2.5 Nilai Cs Negatif Distribusi Log Person III

Weighted SKEW COEFFICIENT	Recurrence Interval In Years							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
	Percent Chance ($\geq$) = 1-F							
Cw	99	50	20	10	4	2	1	0.5
-0.1	-2.400	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2	-3.605	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.656	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.800	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.899	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3	-4.051	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

Sumber: Limantara, 2010



Tabel 2.6 Harga D kritis untuk Uji Smirnov-Kolmogorof

Weighted SKEW COEFFICIENT Cs	Recurrence Interval In Years							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
Percent Chance (>=) = 1-F	99	50	20	10	4	2	1	0.5
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.4	0.017	0.846	1.27	1.716	2	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	0.05	0.853	1.245	1.643	1.89	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.66	1.749
-1	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-0.195	-2.469	0.032	0.850	1.259	1.682	1.948	2.181	2.392

Sumber: Limantara, 2010.

2.3.4.2 Uji Chi-Square

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 , oleh karena itu disebut dengan Chi-Square. Parameter X^2 dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995:194) :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-17)$$

dengan :

E_i = Nilai yang diharapkan (*expected frequency*)

O_i = Nilai yang diamati (*observed frequency*)

Tahapan dalam uji ini adalah sebagai berikut :



a. Menghitung jumlah kelas dengan persamaan:

$$K = 1 + 3.22 \log n \quad (2-18)$$

Keterangan:

K = jumlah kelas

n = banyaknya data

b. Membuat kelompok-kelompok kelas sesuai dengan jumlah kelas

c. Menghitung frekuensi teoritis $E_j = n / \text{jumlah kelas}$

d. Mencari besarnya curah hujan yang masuk dalam batas kelas (O_j)

e. Untuk tiap-tiap sub grup hitung nilai : $(O_j - E_j)^2$ dan $\frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$

f. menjumlah nilai $\frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$ pada seluruh G sub grup untuk menentukan nilai Chi Square hitung (X^2_{hit})

g. Menentukan derajat kebebasan, $dk = k - 1 - m$, dimana m merupakan parameter sebaran chi square = 2

h. Harga X^2_{hit} dibandingkan dengan harga X^2_{Cr} dari table Chi Square dengan dk dan jumlah data (n) tertentu. Apabila $X^2_{\text{hit}} < X^2_{\text{Cr}}$ maka hipotesa distribusi dapat diterima.

Tabel 2.7 Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi-Square (X^2)

Derajat Bebas (g)	20%	10%	5%	1%	0.1%
1	1.642	2.706	3.841	6.635	10.827
2	3.219	4.605	5.991	9.210	13.815
3	4.642	6.251	7.815	11.345	16.268
4	5.989	7.779	9.488	13.277	18.465
5	7.289	9.236	11.070	15.086	20.517
6	8.558	10.645	12.592	16.812	22.457
7	9.803	12.017	14.067	18.475	24.322
8	11.030	13.362	15.507	20.090	26.125
9	12.242	14.987	16.919	21.666	27.877



Lanjutan Tabel 2.7

Derajat Bebas (g)	20%	10%	5%	1%	0.1%
10	13.442	15.987	18.307	23.209	29.588
11	14.631	17.275	19.675	24.725	31.264
12	15.812	18.549	21.026	26.217	32.909
13	16.985	19.812	22.362	27.688	34.528
14	18.151	21.064	23.685	29.141	36.123
15	19.311	22.307	24.996	30.578	37.697
16	20.465	23.542	26.296	32.000	39.252
17	21.615	24.769	27.587	33.409	40.790
18	22.760	25.989	28.869	34.805	42.312
19	23.900	27.204	30.144	36.191	43.820
20	25.038	28.412	31.410	37.566	45.315

Sumber: CD Soemarto, Hirdologi Teknik.

2.4 Intensitas Hujan Rancangan

Intensitas hujan rancangan adalah tinggi hujan yang jatuh pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi, dan dihitung sesuai periode ulang banjir. Untuk mendapatkan intensitas hujan selama waktu konsentrasi digunakan rumus Mononobe (Suyono dan Takeda, 1983):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \quad (2-19)$$

dengan :

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

2.5 Debit Rancangan

Untuk mendapatkan kapasitas saluran drainase, terlebih dahulu harus dihitung jumlah air hujan dan jumlah air kotor atau buangan yang akan dibuang melalui saluran drainase tersebut. Debit rancangan adalah debit air hujan ditambah debit air kotor.

Untuk menghitung debit air hujan dalam mendimensi saluran drainase digunakan metode rasional (Subarkah, 1980 :49)

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2-20)$$



dengan:

Q = debit banjir maksimum (m^3/det)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas hujan rerata selama waktu tiba banjir

A = luas daerah pengaliran (km^2)

2.6 Luas Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran (*catchment area*) adalah daerah tempat curah hujan mengalir menuju saluran. Ditentukan berdasarkan prakiraan dengan pedoman garis kontur yaitu garis-garis yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi (Sosrodarsono, 2003:169). Daerah tangkapan hujan pada perencanaan saluran samping jalan adalah daerah pengaliran yang menerima curah hujan selama waktu tertentu sehingga menimbulkan debit yang harus ditampung oleh saluran samping untuk dialirkan ke saluran induk. Untuk mengetahui besarnya luas daerah pengaliran bisa dicari dengan:

1. Menggunakan kertas millimeter grafis, dan luas pengaliran adalah jumlah kotak tercakup, dikalikan unit kotak, kemudian dikalikan skala peta.
2. Menggunakan planimeter.
3. Menggunakan sistem informasi geografis (GIS).

2.7 Penelusuran Banjir

Penelusuran banjir adalah sebuah konfigurasi gelombang banjir yang bergerak pada suatu tampungan (saluran atau waduk). Pada rekayasa hidrologi, penelusuran banjir merupakan teknik yang penting, yang diperlukan untuk mendapatkan penyelesaian yang lengkap mengenai persoalan pengendalian banjir dan peramalan banjir. Untuk memenuhi keperluan ini, penelusuran banjir dipandang sebagai prosedur yang dibutuhkan untuk menentukan hidrograf yang diketahui dari suatu titik tinjau.

Penelusuran banjir di waduk diperlukan untuk mengetahui data debit *outflow* maksimum dan tinggi air maksimum pada debit *outflow* yang bersesuaian sebagai dasar perencanaan hidrolika struktur, dalam hal ini antara lain adalah untuk menentukan:

- a. Dimensi lebar pelimpah
- b. Profil pelimpah
- c. Tinggi jagaan pelimpah
- d. Dimensi peredam energi dan sebagainya

Perilaku perubahan elevasi muka air pada proses penelusuran banjir di waduk adalah ketika hidrograf banjir yang terjadi masuk ke tampungan waduk, muka air waduk akan terus mengisi ke kapasitas tampungan sementara (*surcharge storage*) yaitu tampungan yang terletak di atas ambang pelimpah. Aliran keluar melalui pelimpah akan terus mengalami kenaikan sampai elevasi tertentu hingga mencapai elevasi maksimum setara dengan debit *outflow* maksimumnya, walaupun peningkatan tidak setaraf dengan peningkatan aliran yang masuk. Proses ini akan terjadi sampai puncak banjir tercapai, ketika *inflow* dan *outflow* akan menjadi sama. Sesudah itu debit *outflow* akan berangsur-angsur mengalami pengurangan yang selanjutnya pada waktu tertentu debit *outflow* lebih besar dari *inflow*.

Selama proses penelusuran banjir berlangsung, jumlah air yang disimpan sementara di dalam waduk disebut reduksi banjir. Hidrograf *outflow* dari waduk akan mempunyai puncak terendah tergantung pada ukuran waduk dan besarnya kapasitas banjir yang tersedia.

2.7.1 Metode Saint Venant

Dalam dinamika fluida, persamaan satu dimensi *saint venant*, umumnya digunakan untuk memodelkan aliran terbuka dan limpasan permukaan. Persamaan ini merupakan penyederhanaan dari persamaan dua dimensi pada aliran dangkal yang juga dikenal dengan persamaan dua dimensi saint-venant. Persamaan satu dimensi saint venant digunakan pada beberapa model termasuk HEC – RAS, SWMM 5, Infoworks, Flood Modeller, MIKE 11, dan MIKE SHE karena signifikan dan lebih mudah untuk dipecahkan daripada persamaan dua dimensi.

Persamaan satu dimensi saint venant dapat diturunkan dari persamaan Navier – Stokes yang menggambarkan gerakan fluida. Persamaan satu dimensi Saint – Venant adalah sebagai berikut:

$$\frac{v}{t} + v \frac{v}{x} + g \frac{h}{x} - (S - Sf) = 0 \quad (2-21)$$

(a) (b) (c) (d)

Percepatan lokal (a) menjelaskan perubahan kecepatan dari waktu ke waktu. Percepatan konvektif (b) adalah percepatan yang disebabkan oleh perubahan kecepatan akibat fluida memasuki suatu penyempitan atau pelebaran penampang saluran, dimana u



adalah kecepatan aliran pada arah x . gradien tekanan (c) menjelaskan bagaimana perubahan tekanan hidrostatik (*head*) terhadap posisi. (d) merupakan percepatan akibat selisih kemiringan dasar dengan garis energi akibat gesekan.

2.8 Teknologi Pemanen Air Hujan (*Rain Water Harvesting*)

Rainwater harvesting adalah teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan, mengalirkan dan menyimpan air hujan untuk kemudian digunakan dari permukaan yang *relative* bersih seperti atap, permukaan tanah atau tangkapan batu. Nilai *rainwater harvesting* sebagai sarana pelengkap atau pengganti suplai air perkotaan telah dibuktikan oleh banyak peneliti. *Rainwater harvesting* merupakan komponen penting dari pengelolaan air perkotaan dan memiliki manfaat sekunder sebagai perluasan penggunaan air hujan dan teknologi inovatif sederhana lainnya memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari wadah penyimpanan air dan proses pengolahan air yang berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Sistem *rainwater harvesting* memanfaatkan sumber daya air *onsite*, mengurangi limpasan perkotaan (*urban runoff*) dan menghemat pengeluaran uang untuk penggunaan air. Sistem *rainwater harvesting* memiliki keterbatasan utama dalam efisiensi system tersebut yang sangat dipengaruhi oleh variasi spasial dan temporal hujan, yang kemudian mempengaruhi kinerja ekonomi mereka.

Keuntungan *rainwater harvesting* adalah tersedia air tambahan, meningkatkan kelembaban tanah, meningkatkan air tanah melalui resapan buatan, mengurangi banjir perkotaan dan meningkatkan kualitas air tanah. Manfaat *rainwater harvesting* dapat digunakan untuk irigasi, *toilet flushing* dan untuk mencuci.

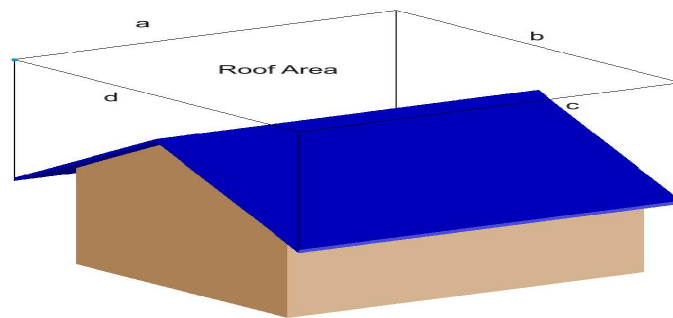
2.8.1 Komponen Pemanen Air Hujan

Komponen dasar dari suatu pemanen air hujan terdiri 3 (tiga) komponen dasar yaitu:

1. *Catchment* atau Area penangkapan air hujan ini bisa dimasukkan dalam konstruksi permukaan tempat penangkapan air hujan. Area ini yang kemudian ikut mempengaruhi efisiensi dan pengumpulan air hujan. Bahan-bahan penyusunnya haruslah tidak beracun, apalagi mengandung bahan-bahan yang bisa menurunkan kualitas air hujan. Bahan-bahan yang bisa menggunakan bahan-bahan antikarat, misalnya, alumunium, besi galvanis, beton, *fiberglass shingless*, dsb.



22



Gambar 2.1 Area Tangkapan Air Hujan

Sumber : Ontario, 2010

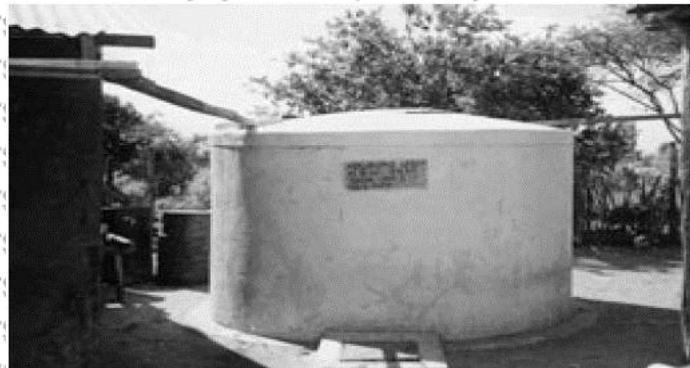
2. *Delivery system* atau sistem pengaliran air hujan. Biasanya terdiri atas saluran pengumpul, atau pipa yang mengalirkan air hujan yang turun dari atap ke tangki penyimpanan melalui pipa atau talang. Agar mampu mengalirkan air hujan semaksimal mungkin, saluran pengumpul atau pipa dibuat dengan ukuran, kemiringan, serta disesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2.2 Talang Air

Sumber: Agus Maryono, 2007

3. *Storage reservoir*. Tempat penyimpanan atau penampungan air hujan ini bisa berwujud tangki alami seperti kolam atau dam, maupun tangki buatan seperti tong atau bak. Dalam *storage reservoir*, kita juga bisa membuat filter sendiri yang bertujuan untuk menyaring sampah (daun, plastik, dll) yang mungkin ikut terbawa air hujan. Dalam kondisi tertentu, filter harus bisa dilepas dengan mudah dan dibersihkan dari sampah.



Gambar 2.3 Tempat Penampung Air Hujan (Reservoir)

Sumber: Agus Maryono, 2007

Sedangkan contoh komponen lengkap sebuah pemanen air hujan pada sebuah bangunan perumahan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Komponen Bagian-bagian Pemanen Air Hujan

Sumber: BCD Oregon, 2010

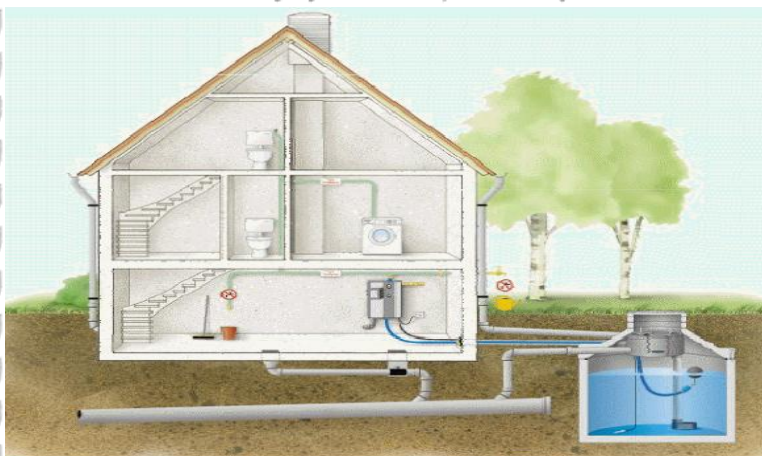


24

Berikut adalah penjelasan notasi gambar:

1. Bidang pengumpul air hujan
2. Talang pembawa air
3. Talang dengan saringan daun
4. Inlet air hujan
5. Pencegah sedimen atau puing, alat penggelontor
6. Inlet tangki
7. Tangki penampung air
8. Pipa *overflow* pada tangki
9. Katup Penutup otomatis
10. Pompa
11. Saringan Air
12. Indikator ketinggian air

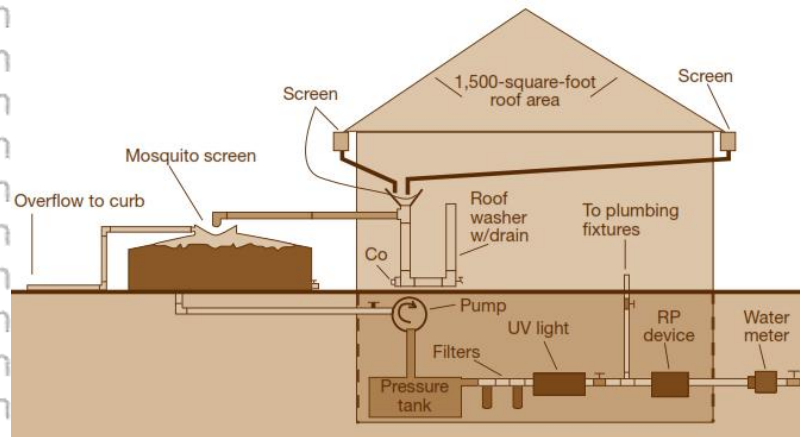
Setelah menginstal sistem jaringan pipa penghubung dari talang ke tangki penampungan, pipa tersebut dapat dihubungkan dengan jaringan pipa di dalam bangunan yang menghubungkan dengan jaringan pipa air bersih seperti pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Sistem Plumbing Pemanfaatan Air Hujan pada Perumahan Sumber: Agus Maryono, 2007

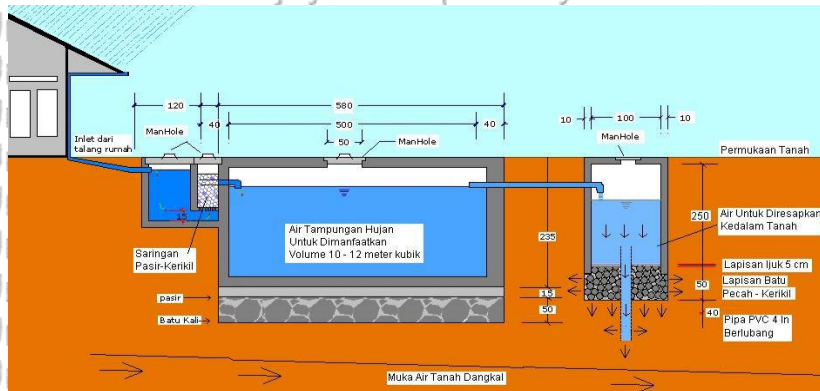
Dalam menentukan letak tangki air sebaiknya direncanakan dengan sebaik mungkin. Tangki air yang efektif harus berada lebih tinggi dari tempat yang akan dialiri sehingga

dalam hal ini tidak diperlukan pompa tetapi menggunakan gravitasi air itu sendiri. Bila tidak memungkinkan bisa juga dengan meletakkan tangki di bawah tanah dengan penggunaan pompa untuk menaikkan air ke tempat yang memerlukan air.



Gambar 2.6 Tangki Air Hujan di Atas Permukaan Tanah

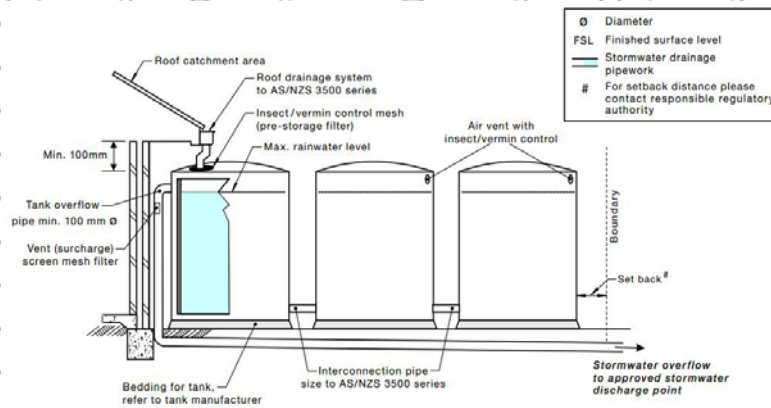
Sumber: BCD Oregon, 2008



Gambar 2.7 Tangki Air Hujan Terletak di Bawah Tanah

Sumber: BPPT KELAIR, 2012

Apabila ingin menyimpan cadangan air hujan dengan kapasitas yang lebih besar, tangki dapat ditambah dan dihubungkan sesuai dengan gambar berikut ini:



Gambar 2.8 Sistem 3 Tangki Penampung Air Hujan yang Saling Terhubung

Sumber: *National Water Commision, 2008*



Gambar 2.9 Tangki Air Hujan di Berbagai Wilayah di Indonesia

Sumber: Agus Maryono, 2007

2.9 Storm Water Management Model (SWMM)

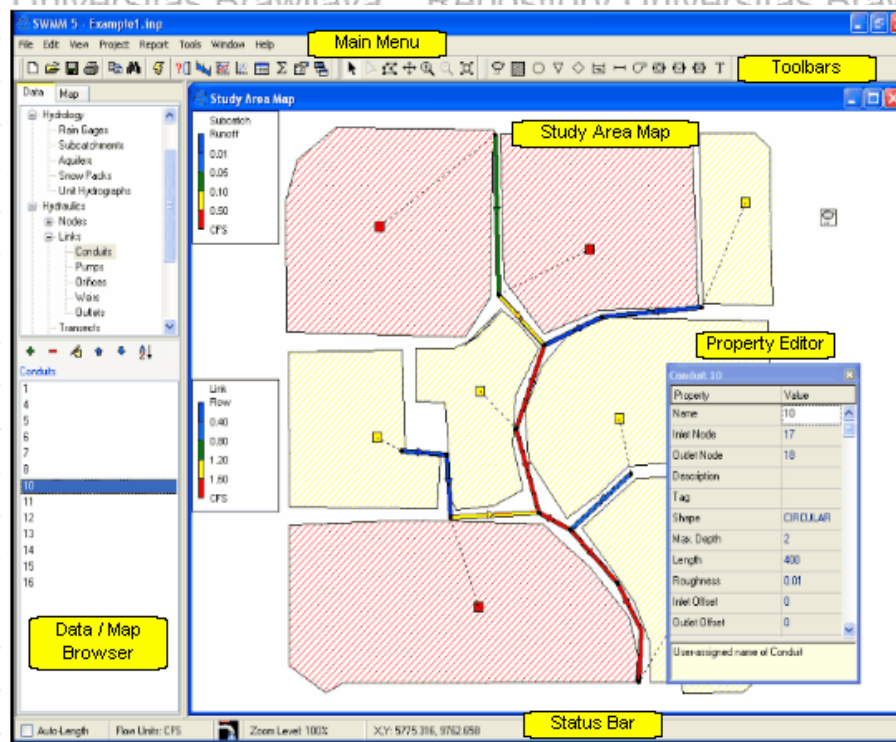
2.9.1 Definisi SWMM

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model simulasi hujan aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan dari daerah perkotaan. Limpasan permukaan dihasilkan dari daerah tangkapan hujan yang menerima hujan. Beban limpasan permukaan tersebut kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka, tampungan, pompa, dan sebagainya. SWMM menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan dari setiap daerah tangkapan



hujan, dan debit aliran, kedalaman aliran, dan kualitas air di setiap pipa dan saluran selama periode simulasi.

Program SWMM bersifat gratis (*public domain*) dan versi terakhir yaitu versi 5.0 yang telah beredar sejak Juli 2009. Program SWMM tersedia di website resmi United States Environmental Protection Agency (US EPA) dan dapat didownload di http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/swmm50022_setup.exe.



Gambar 2.10 Halaman kerja program SWMM

Sumber: www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/epaswmm5_user_manual.pdf.

(diakses 20 Mei 2016)

Halaman kerja dari program SWMM seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8.1 di atas. Halaman kerja tersebut terdiri dari beberapa elemen sebagai berikut: Main Menu, Toolbars, Status Bar, Jendela Study Area Map, Panel Browser, dan Jendela Property Editor. Penjelasan lebih detail mengenai setiap elemen dapat dibaca pada buku manual penggunaan program SWMM atau pada menu bantuan (*help*) dari program apabila telah terpasang pada komputer.



2.9.2 Kemampuan Pemodelan

Program EPA SWMM digunakan untuk memodelkan berbagai hal mengenai proses hidrologi yang dihasilkan dari area perkotaan. Antara lain:

- Waktu curah hujan
- Evaporasi permukaan air
- Akumulasi salju dan meleleh
- Penangkapan curah hujan dari penyimpanan depresi
- Infiltrasi curah hujan ke dalam lapisan tanah tak jenuh
- Perkolasi dari infiltrasi air yang masuk ke dalam lapisan tanah
- Hubungan antara air tanah dan sistem drainase
- Tangkapan dan penyimpanan curah hujan dengan berbagai tipe pemodelan

2.9.3 Komponen SWMM

Komponen-komponen dari aplikasi EPA SWMM terdiri dari:

1. Komponen Atmosfer berupa curah hujan yang dikirim ke permukaan tanah. SWMM menggunakan fungsi '*Rain Gage*' sebagai masukan curah hujan pada sistem pemodelan.

Rain Gage memberikan data curah hujan untuk satu atau lebih subcatchment di wilayah studi. Data curah hujan dapat berupa *time series* yang ditetapkan pengguna atau berasal dari file eksternal. Masukan daripada program EPA SWMM terdiri dari:

- Data curah hujan (misalnya, intensitas, volume atau volume kumulatif)
- Interval waktu perekaman (misalnya, 10 menit, 30 menit, 1 jam, dll)
- Sumber data curah hujan (*time series* atau *file eksternal*)
- Nama sumber data curah hujan (nama *time series* atau *file eksternal*)

2. Komponen Permukaan Tanah yang menggunakan satu atau lebih fungsi '*subcatchment*'. Komponen ini menerima curah hujan dari Komponen Atmosfer dalam bentuk hujan maupun salju. Setelah itu mengirimkan aliran dalam bentuk infiltrasi ke Komponen Air Tanah dan juga sebagian limpasan permukaan ke Komponen Transport.

Subcatchment merupakan salah satu unit hidrologi dari lahan yang memiliki elemen topografi dan sistem drainase limpasan permukaan ke titik pembuangan.



dan mengidentifikasi titik outlet masing-masing *subcatchment*. *Subcatchment* dapat dibagi menjadi sub area tembus dan kedap. Limpasan permukaan dapat meresap ke zona tanah atas dari sub daerah tembus. Daerah kedap dapat dibagi menjadi dua sub area, yang memiliki genangan dan yang tidak. Aliran limpasan dari satu sub area di *subcatchment* dapat dialihkan ke sub area lain, atau keduanya dapat mengalir ke outlet *subcatchment*. Retensi hujan/limpasan menggunakan berbagai struktur ekodrainase dapat dimodelkan pada komponen ini. Parameter masukan pada komponen ini terdiri dari:

- Pengukuran hujan
- Outlet persubcatchment
- Kekedapan lahan
- Kemiringan lahan
- Lebar jalur aliran
- Nilai kekasaran manning untuk area tembus dan kedap
- Kedalaman genangan di area tembus dan kedap
- Prosentase area kedap tanpa genangan

3. Komponen air tanah menerima infiltrasi dari komponen permukaan tanah dan meneruskan sebagian dari aliran ini ke komponen transportasi. Komponen ini di modelkan dalam fungsi 'aquifer'

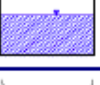
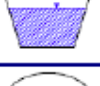
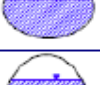
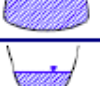
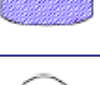
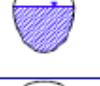
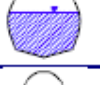
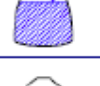
4. Komponen transportasi terdiri dari jaringan drainase (saluran, pipa, pompa dan regulator) dan unit penyimpanan/pengolahan air yang mengangkut air ke *outfalls* atau fasilitas pengolahan. Aliran yang masuk ke komponen bisa dari limpasan permukaan, *interflow* air tanah, aliran sanitasi, atau obyek hidrograf yang ditetapkan pengguna. Komponen transportasi dimodelkan dalam fungsi 'node' dan 'link'.

Junction node (persimpangan)

Junction merupakan sistem drainase dimana link bergabung bersama. Secara fisik *junction* mempresentasikan pertemuan saluran alam, lubang pada sistem saluran pembuangan, atau kelengkapan koneksi pipa. Parameter masukan untuk fungsi *junction* antara lain:

- Tinggi *invert*
- Elevasi permukaan tanah

Tabel 2.8 Bentuk Penampang Saluran Terbuka dan Tertutup

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Full Height		Circular Force Main	Full Height, Roughness	
Filled Circular	Full Height, Filled Depth		Rectangular - Closed	Full Height, Width	
Rectangular - Open	Full Height, Width		Trapezoidal	Full Height, Base Width, Side Slopes	
Triangular	Full Height, Top Width		Horizontal Ellipse	Full Height, Max. Width	
Vertical Ellipse	Full Height, Max. Width		Arch	Full Height, Max. Width	
Parabolic	Full Height, Top Width		Power	Full Height, Top Width, Exponent	
Rectangular-Triangular	Full Height, Top Width, Triangle Height		Rectangular-Round	Full Height, Top Width, Bottom Radius	
Modified Baskethandle	Full Height, Bottom Width, Top Radius		Egg	Full Height	
Horseshoe	Full Height		Gothic	Full Height	
Catenary	Full Height		Semi-Elliptical	Full Height	
Baskethandle	Full Height		Semi-Circular	Full Height	
Irregular Natural Channel	Transect Coordinates		Custom Closed Shape	Full Height, Shape Curve Coordinates	

Sumber: *Storm Water Management Model User Manual Version 5.1***Conduit (saluran)**

Saluran adalah pipa atau saluran yang memindahkan air dari satu *node* ke *node* yang lain dalam sistem pengangkutan aliran. SWMM menggunakan persamaan manning untuk memodelkan hubungan antara laju aliran (Q), luas penampang basah (A), jari-jari hidrolik (R) dan kemiringan (s) dalam saluran terbuka.

Parameter masukan untuk fungsi conduit antara lain:



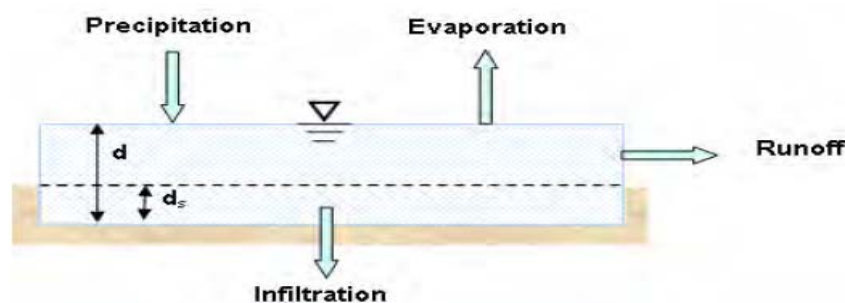
- Nama *node inlet* dan *outlet*
- Ketinggian di atas *inlet* dan *outlet*
- Panjang saluran
- Koefisien kekasaran saluran (*manning*)
- Potongan melintang saluran

2.9.4 Metode Komputasi

SWMM merupakan model berbasis fisik, menggunakan prinsip kekekalan massa, energy, dan momentum, SWMM memodelkan limpasan hujan melalui proses fisik seperti:

1. Limpasan Permukaan

Limpasan dihitung dalam SWMM dengan mengurangi infiltrasi dan / atau penguapan dari curah hujan. Konsep limpasan permukaan yang digunakan oleh SWMM dapat kita lihat seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini. Setiap permukaan *subcatchment* diperlukan sebagai tampungan non linear. *Inflow* berasal dari curah hujan dan hulu *subcatchment*. Ada beberapa *outflow*, diantaranya infiltrasi, evaporasi, dan limpasan permukaan. Limpasan permukaan persatuan luas, Q , terjadi hanya ketika kedalaman air di tampungan melebihi penyimpanan depresi maksimal, dp , dengan besar arus keluar diberikan oleh persamaan *manning*. Kedalaman air diatas *subcatchment* sebanding dengan waktu (t dalam detik), diperoleh menggunakan persamaan neraca air, dimana $inflow = outflow$.



Gambar 2.11 Konsep Aliran permukaan pada Aplikasi EPA SWMM

Sumber: *Storm Water Management Model User Manual Version 5.1*



2. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses curah hujan meresap ke zona tanah tak jenuh dari *subcatchment* yang dapat di tembus, SWMM menawarkan tiga metode untuk pemodelan infiltrasi, antara lain:

- Metode Horton

Laju infiltrasi dipengaruhi oleh tekstur dan struktur, kelengasan tanah, kadar materi tersuspensi dalam air juga waktu. Laju infiltrasi tertinggi dicapai saat air pertama kali masuk ke dalam tanah dan menurun dengan bertambahnya waktu. Laju infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus Model Horton.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}; i \geq f_c \quad (2-22)$$

Keterangan:

f : laju infiltrasi nyata (mm/jam)

f_c : laju infiltrasi tetap (mm/jam)

f_0 : laju infiltrasi awal (mm/jam)

k : konstanta geofisik

t : waktu terhitung mulainya hujan (jam)

- Metode Green-Ampt

Metode ini mengemukakan istilah front pembasahan, yaitu sudut batas yang jelas antara tanah yang mempunyai kelembaban tertentu di bawah dengan tanah jenuh di atasnya. Front pembasahan ini terdapat pada kedalaman L yang dicapai pada waktu t dari permukaan. Parameter input yang diperlukan adalah kelembaban awal tanah, konduktivitas hidrolik tanah, dan *suction head*.

- Metode *Curve Number*

Pendekatan ini diadopsi dari NRCS (SCS) *Curve Number* untuk memperkirakan limpasan, yang mengasumsikan bahwa total kapasitas infiltrasi tanah dapat diperoleh dari nilai *curve number* yang ditentukan berdasarkan jenis tanah, vegetasi dan jenis penggunaan lahan. Parameter masukan untuk metode ini adalah jumlah curah hujan dan waktu yang dibutuhkan tanah sepenuhnya jenuh untuk benar-benar kering.



3. Flow Routing (Penelusuran Aliran)

Routing aliran dalam aliran SWMM menggunakan metode Saint-venant yang menggunakan persamaan kontinuitas dan momentum untuk aliran *gradually varied* dan *unsteady*. Pengguna SWMM memiliki pilihan tingkat kesulitan yang digunakan untuk menerapkan persamaan ini, antara lain:

- *Routing Steady Flow*

Merupakan *routing* yang paling sederhana dengan mengasumsikan kondisi aliran seragam dan stabil terhadap waktu. Jenis *routing* ini tidak dapat emnghitung tumpungan saluran, *backwater* dan kehilangan (*losses*).

- *Routing Kinematic Flow*

Metode ini mengharuskan kemiringan permukaan air sama dengan kemiringan dasar saluran tersebut. Metode ini juga memungkinkan aliran dan luasan bervariasi baik secara spasial maupun temporal di dalam saluran. Namun metode ini tidak dapat menjelaskan efek *backwater*, kehilangan (*losses*), atau aliran bertekanan. Metode ini cukup akurat dan efisien, terutama untuk simulasi jangka panjang.

- *Routing Dynamic Flow*

Metode ini memberikan hasil teoritis paling lengkap dan akurat. Terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum untuk saluran dan persamaan kontinuitas volume pada *node*. Metode ini dapat mewakili aliran bertekanan pada saluran tertutup ketika penuh, sehingga arus dapat melebihi aliran normal.

4. Kontrol Ekodrainase (LID Control)

Kontrol ekodrainase bekerja melalui lapisan vertikal masing-masing struktur tiap unit daerah. Sehingga memungkinkan struktur dan desain yang sama dengan cakupan areal yang berbeda untuk dengan mudah ditempatkan pada subcatchment yang berbeda. Ketika simulasi, SWMM dapat melacak berapa banyak air bergerak antara tiap lapisan dan yang tersimpan pada sturktur ekodrainase.

2.10 Kalibrasi Model

2.10.1 Root Mean Square Errors (RMSE)

RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran model terhadap nilai pengukuran atau target. Nilai *Root Mean Square Errors* (RMSE) mensyaratkan mendekati satu (1) untuk menunjukkan bahwa nilai rata-rata peramalan yang dihasilkan mendekati nilai sebenarnya.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2} \quad (2-23)$$

dimana :

Q_{obs} = debit hasil pengamatan di lapangan (m^3/dt)

Q_{sim} = debit hasil pemodelan (m^3/dt)



BAB III METODOLOGI

3.1 Deskripsi Daerah Studi

Kota Surabaya adalah ibu kota Provinsi Jawa Timur, Indonesia sekaligus menjadi kota metropolitan terbesar di provinsi tersebut. Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Kota Surabaya juga merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri, dan pendidikan di Jawa Timur serta wilayah Indonesia bagian timur. Kota ini terletak 796 km sebelah timur Jakarta, atau 415 km sebelah barat laut Denpasar, Bali. Surabaya terletak di tepi pantai utara Pulau Jawa dan berhadapan dengan Selat Madura serta Laut Jawa.

Surabaya memiliki luas sekitar 333,063 km² dengan penduduknya berjumlah 2.909.257 jiwa (2015). Daerah metropolitan Surabaya yaitu Gerbangkertosusila yang berpenduduk sekitar 10 juta jiwa, adalah kawasan metropolitan terbesar kedua di Indonesia setelah Jabodetabek. Surabaya dilayani oleh sebuah bandar udara, yakni Bandar Udara Internasional Juanda, serta dua pelabuhan, yakni Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Ujung.



Gambar 3.1 Peta Administratif Kota Surabaya
Sumber: Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Pemerintah Kota Surabaya

Kota Surabaya terdiri atas 31 kecamatan dan 163 kelurahan. Berikut adalah daftar kecamatan di Surabaya yang dibagi dalam 5 wilayah:

Tabel 3.1 Kecamatan di Kota Surabaya

Surabaya Pusat	Surabaya Timur	Surabaya Utara	Surabaya Selatan	Surabaya Barat
Tegalsari	Gubeng	Bulak	Wonokromo	Benowo
Simokerto	Gunung Anyar	Kenjeran	Wonocolo	Pakal
Genteng	Sukolilo	Semampir	Wiyung	Asemrowo
Bubutan	Tambaksari	Pabean Cantikan	Karangpilang	Sukomanunggal
	Mulyorejo	Krembangan	Jambangan	Tandes
	Rungkut		Gayungan	Sambikerep
	Tenggilis Mejoyo		Dukuh Pakis	Lakarsantri
			Sawahan	

Sumber: Wikipedia.org

Untuk unit analisa studi yang lebih kecil yaitu satu kecamatan telah dipilih Kecamatan Sukolilo, dimana bagian dalam wilayah kecamatannya meliputi wilayah daratan dan wilayah air. Secara adminitrasi di bawah Kecamatan Sukolilo termasuk wilayah Surabaya Timur. Secara administratif batas Wilayah Kecamatan Sukolilo adalah :

- Sebelah utara Kecamatan Mulyorejo
- Sebelah barat Selat Madura
- Sebelah timur Kecamatan Gubeng
- Sebelah selatan Kecamatan Rungkut

Morfologi Kecamatan Sukolilo merupakan dataran rendah yang terbentuk oleh rawa. Untuk kondisi tanah berupa tanah alluvial yang terjadi oleh endapan sungai atau endapan pantai umumnya sangat subur sehingga sangat cocok untuk daerah pertanian. Jenis tanah yang membentuk kawasan Kecamatan Sukolilo meliputi tanah pasir berkerang dan tanah pasir tupaan.

Perumahan Sukolilo Dian Regency menempati areal bekas tambak yang diurug dengan luas areal lahan 123.859,87 m² dengan luas perumahan 63.393 m². Tipe rumah yang akan dibangun adalah tipe 45, 59 dan type 69. Untuk lebih jelasnya mengenai tata guna lahan Sukolilo Dian Regency dapat dilihat pada tabel 3.2 dan gambar 3.3 lokasi rencana perumahan Sukolilo Dian Regency.



Tabel 3.2 Rincian Tata Guna Lahan Pada Perumahan Sukolilo Dian regency

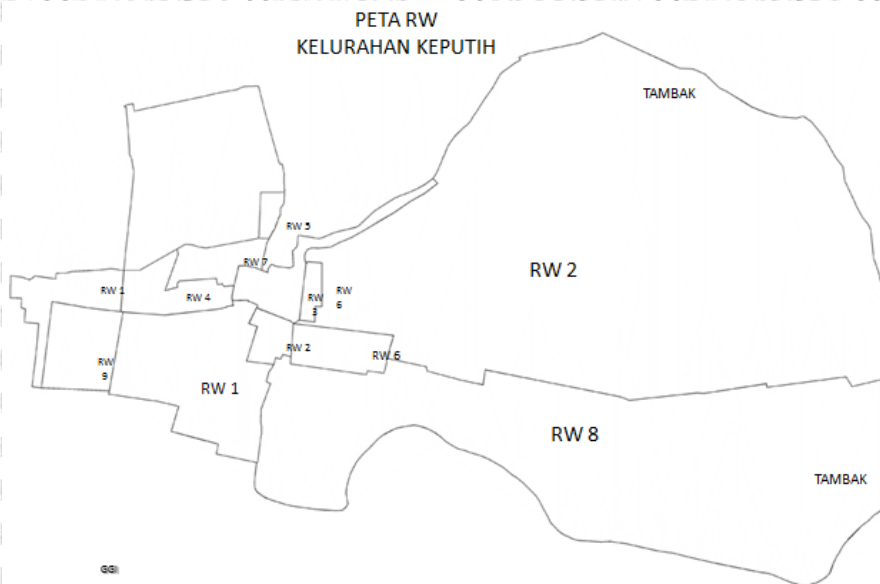
No.	Tata Guna Lahan	Luas (m ²)
1	Perumahan	63.393,00
2	Fasilitas Umum Pemkot	5.576,29
3	Ruang Terbuka Hijau	11.899,69
4	Jalan Pemkot	42.990,89
Total Luas		123.859,87

Sumber: Kantor Kelurahan Keputih



Gambar 3.2 Lokasi Kecamatan Sukolilo

Sumber: Kantor Kecamatan Sukolilo



Gambar 3.3 Lokasi Kelurahan Keputih

Sumber: Kantor Kelurahan Keputih



Gambar 3.4 Lokasi Perumahan Sukolilo Dian Regency

Sumber: <https://www.google.com/maps/place/Sukolilo+Dian+Regency> (diakses 10 Mei 2016)

3.1.1 Kondisi Topografi

Topografi Kecamatan Sukolilo berada di wilayah dataran rendah dengan elevasi ≤ 10 m dengan kemiringan lereng 0-2%.



3.1.2 Kondisi Geologi

Morfologi Kecamatan Sukolilo merupakan dataran rendah yang terbentuk oleh rawa. Untuk kondisi tanah berupa tanah alluvial yang terjadi oleh endapan sungai atau endapan pantai umumnya sangat subur sehingga sangat cocok untuk daerah pertanian. Jenis tanah yang membentuk kawasan Kecamatan Sukolilo meliputi tanah pasir berkerang dan tanah pasir tupaan.

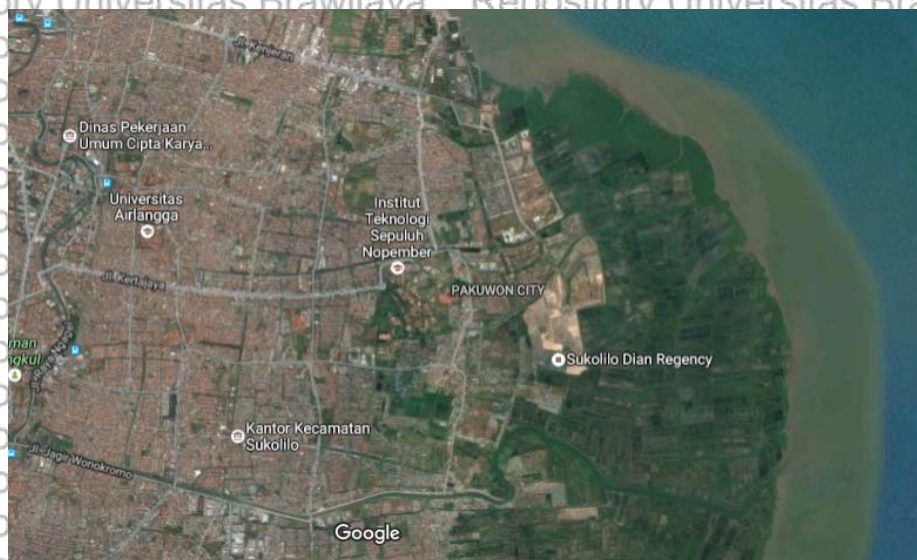
3.1.3 Kondisi Hidrologi

Lokasi daerah studi memiliki iklim tropis seperti kota besar di Indonesia pada umumnya di mana hanya ada dua musim dalam setahun yaitu musim hujan dan kemarau. Curah hujan di Surabaya rata-rata 165,3 mm. Curah hujan tertinggi di atas 200 mm terjadi pada kurun Januari hingga Maret dan November hingga Desember. Suhu udara rata-rata di Surabaya berkisar antara 23,6 °C hingga 33,8 °C.

3.2 Data- data yang Dibutuhkan

Dalam penyusunan studi ini diperlukan data pendukung, baik data primer maupun data sekunder, antara lain :

1. Data curah hujan diambil dari stasiun hujan Keputih. Data hujan yang ada dari tahun 1993-2012.



Gambar 3.5 Lokasi Stasiun Hujan

Sumber: www.Google.com (diakses 29 September 2016)

2. Data dan peta topografi, peta jaringan drainase eksisting, peta tata guna lahan, bersumber dari Dinas Pekerjaan Umum dan Cipta Karya Pemerintah Kota Surabaya.



Gambar 3.6 Skema arah aliran drainase di kawasan perumahan Sukolilo Dian Regency

3. Data curah hujan jam-jamian pada saat kejadian hujan yang didapat dari hasil pengukuran di lapangan.

3.3 Instrumen yang digunakan dan Skenario Pemodelan

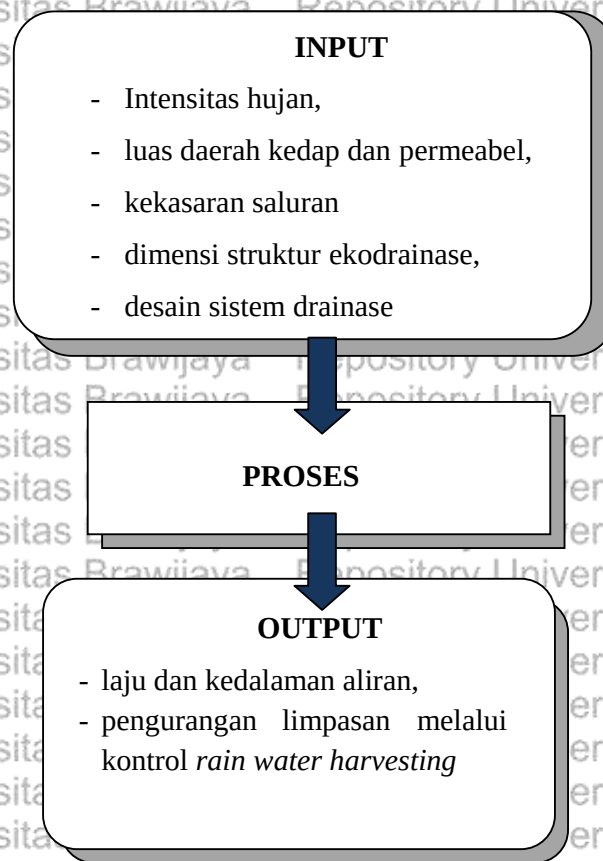
Instrumen yang digunakan untuk penyelesaian studi ini adalah *software* EPA's *Storm Water Management Model* (SWMM) 5.1, model simulasi curah hujan - limpasan dinamis, digunakan untuk kejadian hujan tunggal atau jangka panjang (kontinu), baik dari segi kuantitas dan kualitas khususnya di daerah perkotaan.

Skenario hujan kala ulang 5 tahun digunakan untuk mengetahui kinerja struktur ekodrainase dalam mereduksi limpasan. Sehingga skenario pemodelan yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut :

1. Kondisi sistem drainasi eksisting dengan hujan kala ulang 5 tahun
2. Penerapan *Rain Water Harvesting* dengan hujan kala ulang 5 tahun
3. Analisa reduksi limpasan setelah diterapkan *RainWater Harvesting*.



Berikut diagram alir pemodelan dengan EPA SWMM Versi 5.1 :



Gambar 3.7 Diagram Alir Pemodelan Dengan EPA's SWMM Versi 5.1

3.4 Langkah-Langkah Pengerjaan Studi

Studi ini dilakukan pada kawasan Perumahan Sawojajar, langkah-langkah studi ini disusun secara sistematis sehingga mempermudah dalam penyelesaiannya. Langkah-langkah studi tersebut dapat disajikan pada tabel 3.3 dibawah ini :

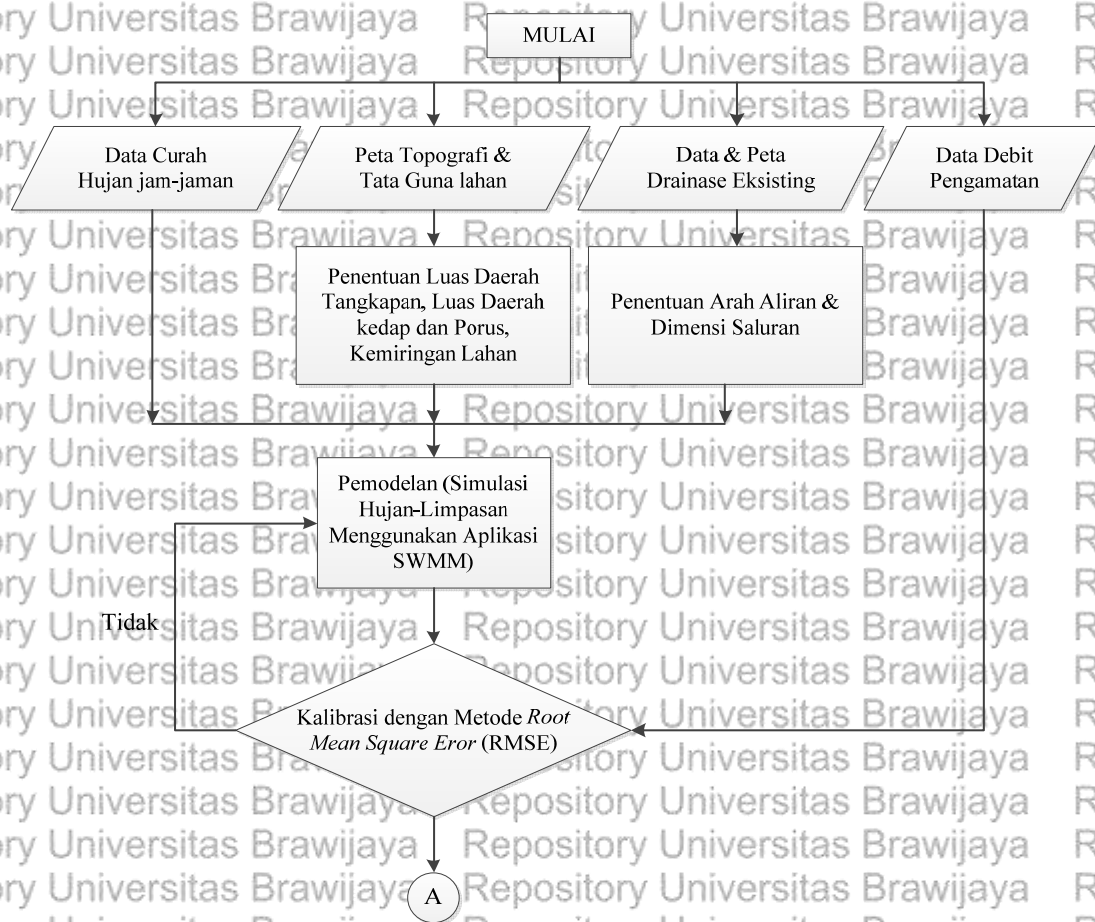
Tabel 3.3 Langkah-Langkah Pengerjaan Studi

No	Tahapan	Keterangan
1	Studi Pustaka	• Pegumpulan teori-teori yang diperlukan pada saat pengerjaan penelitian.
2	Survei dan Pengumpulan Data	• Data curah hujan harian selama 10 tahun. • Peta lokasi • Peta topografi • Peta jaringan drainase eksisting

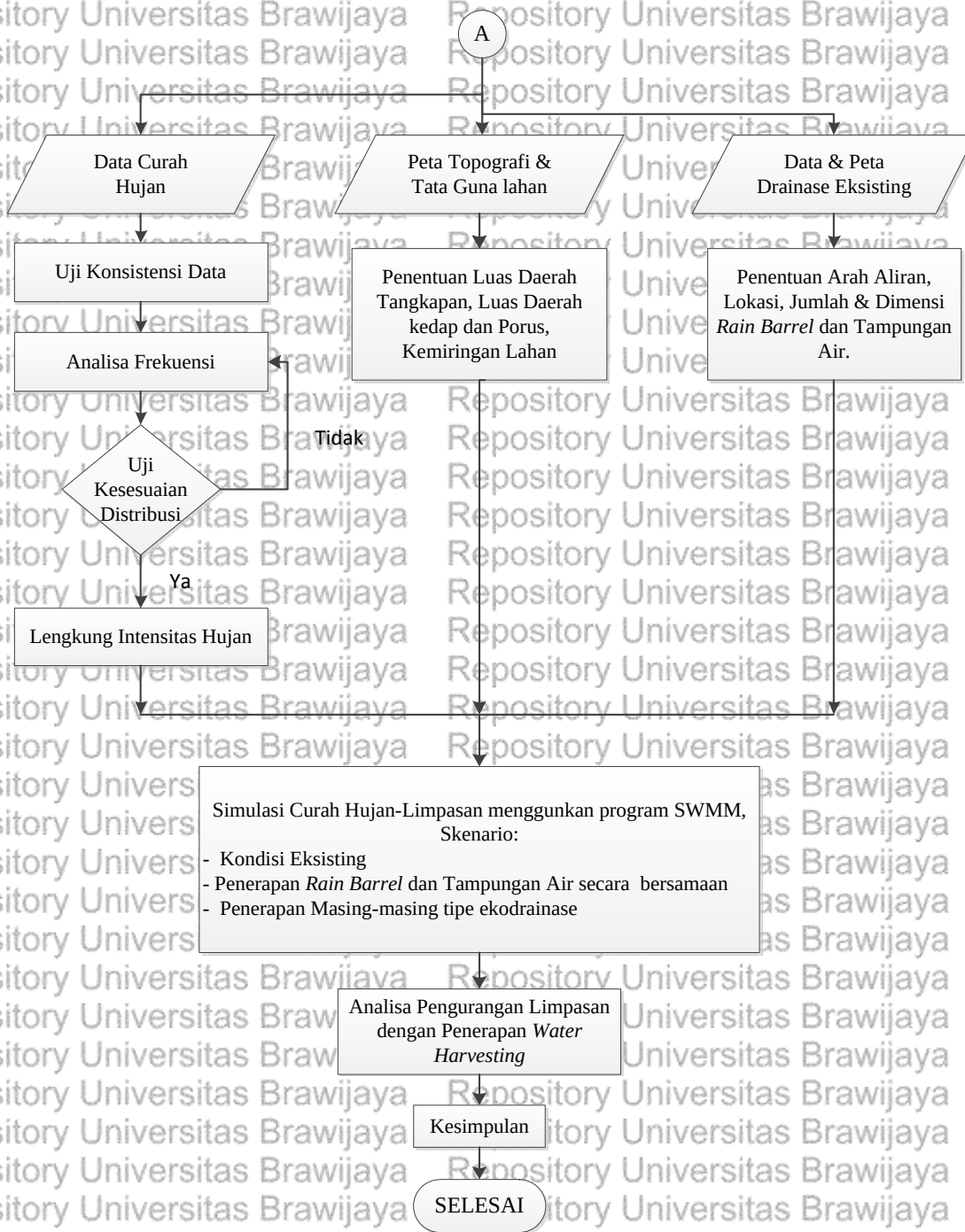
Lanjutan Tabel 3.3

No	Tahapan	Keterangan
		• Peta tata guna lahan • Data permeabilitas tanah dan kedalaman muka air tanah
		• Menghitung hujan maksimum. • Analisa Frekuensi (Curah Hujan Rancangan) Analisa curah hujan rancangan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III. • Uji Kesesuaian Distribusi Uji kesesuaian distribusi menggunakan Uji Chi-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov. Uji ini untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang akan dianalisis. • Menentukan luas daerah tangkapan (A) serta luas daerah porous dan daerah kedap berdasarkan peta topografi dan peta tata guna lahan.
		• Menghitung intensitas hujan (I) Perhitungan intensitas hujan menggunakan cara Mononobe. • Merencanakan lokasi, jumlah dan dimensi sistem Rain Water Harvesting. • Evaluasi kinerja saluran drainase eksisting terintegrasi dengan penerapan Rain Barrel. Menggunakan model simulasi limpasan curah hujan dinamis EPA's Storm Water Management Model (SWMM) 5.1, dengan keluaran hidrograf limpasan pada kondisi sebelum dan sesudah adanya struktur Rain Water Harvesting.
		• Menarik kesimpulan dari analisa terhadap pengaruh struktur Rain Water Harvesting pada reduksi genangan.
3	Kesimpulan	

Sumber: Hasil Analisa



Gambar 3.8 Diagram Alir Kalibrasi Pemodelan EPA SWMM



Gambar 3.9 Diagram Alir Pengerjaan Studi



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada tahap ini studi diawali dengan penentuan batas daerah tangkapan air (*catchment area*). Pada daerah perkotaan, batas daerah tangkapan air ditentukan dengan melihat kondisi topografi serta didukung dengan hasil survei di lapangan. Dari data topografi serta survei di lapangan juga dapat diketahui arah aliran pada lokasi penelitian. Secara sistematis, analisa pembahasan pada bab ini akan dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Analisa peta topografi dan kondisi jaringan drainase eksisting untuk memperoleh data-data sebagai berikut:
 - a. Luas daerah tangkapan (*subcatchment*)
 - b. Luas daerah kedap dan porus
2. Pembuatan model jaringan drainase menggunakan program EPA SWMM 5.1.
3. Kalibrasi model jaringan drainase menggunakan data pengamatan dan simulasi dengan curah hujan pada waktu yang sama. Proses kalibrasi program EPA SWMM 5.1 dengan metode RMSE.
4. Analisa hidrologi dengan beberapa tahapan, yaitu:
 - a. Uji konsistensi data dengan metode RAPS
 - b. Analisa curah hujan maksimum
 - c. Analisa frekuensi
 - d. Uji kesesuaian distribusi frekuensi
 - e. Hubungan intensitas hujan dan waktu
5. Simulasi model jaringan drainase dengan data curah hujan kala ulang 5 tahun serta dilakukan evaluasi sebelum adanya perencanaan *rain barrel*.
6. Perencanaan *rain barrel* pada model jaringan drainase.
7. Simulasi model jaringan drainase dengan penerapan *rain barrel*.
8. Analisa reduksi limpasan.

4.2 Analisa Peta dan Jaringan Drainase Eksisting

Berdasarkan peta topografi, jaringan drainase eksisting, dan survei lokasi maka didapatkan data daerah tangkapan air hujan (*subcatchment*) yang ditampilkan pada tabel

4.1 dan data geometri saluran pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data Sub Daerah Tangkapan Air (data input program SWMM)

Nama	A	A	%	A _{kedap}	Lebar	%	n	n	h _{genangan}	h _{genangan}	% lap
(m ²)	(ha)	Kedap		(m ²)	(m)	Slope	Kedap	Porus	lap. Kedap (mm)	lap. Porus (mm)	tanpa genangan
S1	2204	0.22	95.3	2101	142.6	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	64.40
S2	2091	0.21	96.4	2016	126.6	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	62.26
S3	1999	0.20	97.7	1954	123.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	65.10
S4	1904	0.19	98.6	1878	121.5	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	64.38
S5	1807	0.18	97.1	1754	112.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	63.83
S6	1718	0.17	98.1	1685	109.0	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	62.63
S7	1615	0.16	96.2	1554	100.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	62.18
S8	1519	0.15	93.9	1427	96.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	56.07
S9	1448	0.14	90.4	1308	87.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	53.88
S10	1354	0.14	93.8	1271	79.9	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	60.85
S11	3917	0.39	6.7	264	48.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	0.00
S12	1636	0.16	96.3	1575	74.0	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	68.11
S13	1601	0.16	95.9	1536	78.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	70.40
S14	3535	0.35	97.6	3449	74.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	42.32
S15	4108	0.41	97.8	4018	182.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	59.58
S16	2905	0.29	92.2	2679	104.8	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	46.98
S17	2212	0.22	97.8	2163	105.5	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	71.40
S18	2291	0.23	96.9	2220	109.6	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	70.95
S19	2366	0.24	96.9	2293	116.8	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.90
S20	2442	0.24	95.5	2332	118.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	68.98
S21	2472	0.25	98.3	2430	120.9	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	72.46
S22	2571	0.26	93.6	2407	125.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	67.37
S23	2602	0.26	96.1	2500	128.5	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.87
S24	2626	0.26	97.8	2569	131.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	71.16
S25	2619	0.26	97.2	2547	129.0	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	70.99
S26	2636	0.26	97.9	2579	127.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	71.36
S27	2624	0.26	98.3	2578	129.6	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	72.08
S28	2647	0.26	98.2	2599	128.1	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	71.70
S29	3317	0.33	97.6	3236	136.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	55.04
S30	3139	0.31	82.1	2576	104.8	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	32.74
S31	2323	0.23	97.5	2266	105.5	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	67.63
S32	2383	0.24	97.6	2325	115.9	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	68.73
S33	2430	0.24	97.6	2372	116.8	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	68.72

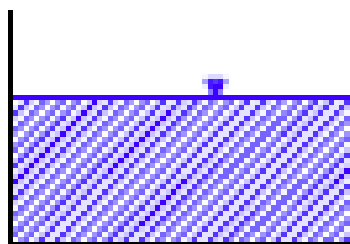


Lanjutan Tabel 4.1

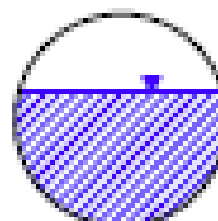
Nama	A (m ²)	A (ha)	% Kedap	A _{Kedap} (m ²)	Lebar (m)	% Slope	n _{Kedap}	n _{Porus}	h _{genangan} lap. Kedap (mm)	h _{genangan} lap. Porus (mm)	% lap. Kedap tanpa genangan
S34	2503	0.25	97.7	2446	118.4	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.35
S35	2554	0.26	97.7	2496	120.9	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.55
S36	2634	0.26	97.8	2577	125.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.80
S37	2675	0.27	97.8	2617	128.5	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.62
S38	2683	0.27	97.8	2625	131.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.66
S39	2689	0.27	97.9	2631	129.0	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.71
S40	2683	0.27	97.8	2625	127.3	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	70.05
S41	2697	0.27	97.9	2639	129.6	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	69.70
S42	2697	0.27	97.9	2639	128.1	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	70.04
S43	3271	0.33	98.2	3213	136.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	56.52
S44	1800	0.18	84.8	1527	71.2	0.15	0.024	0.13	2.54	2.54	48.12

Sumber: Hasil Analisa

Penampang saluran drainase pada perumahan Sukolilo Dian Regency berdasarkan hasil survei lapangan, pada umumnya berbentuk persegi dan lingkaran. Hasil penggambaran penampang saluran pada program SWMM dapat dilihat pada gambar 4.1.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Dimensi saluran berbentuk persegi (a) dan lingkaran (b)

Tabel 4.2 Rekapitulasi Data Geometri Saluran

No.	Nama	Node Inlet- Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Meterial
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
1	C1	J33	5.838	Segi Empat	0.6	0.35		124.098	0.0059	Beton
		J5	5.106							
2	C2	J34	5.838	Segi Empat	0.6	0.35		128.917	0.0058	Beton
		J6	5.094							



48

Lanjutan Tabel 4.2

No.	Nama	Node Inlet- Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Material
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
3	C3	J35	5.548	Segi Empat	0.6	0.35		125.418	0.0039	Beton
		J7	5.057							
4	C4	J36	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		122.396	0.0039	Beton
		J8	5.045							
5	C5	J37	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		109.793	0.0047	Beton
		J9	5.011							
6	C6	J38	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		100.79	0.0052	Beton
		J10	5.000							
7	C7	J39	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		100.79	0.0056	Beton
		J11	4.966							
8	C8	J40	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		97.083	0.0059	Beton
		J12	4.955							
9	C9	J41	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		87.888	0.0069	Beton
		J13	4.922							
10	C10	J42	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		80.173	0.0077	Beton
		J14	4.910							
11	C11	J43	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		258.706	0.0028	Beton
		J15	4.805							
12	C12	J44	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		78.237	0.0094	Beton
		J16	4.794							
13	C13	J45	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		213.605	0.0037	Beton
		J17	4.742							
14	C14	J5	5.106	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton
		J6	5.094							
15	C15	J6	5.094	Segi Empat	0.6	0.55		26.35	0.0014	Beton
		J7	5.057							
16	C16	J7	5.057	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton
		J8	5.045							
17	C17	J8	5.045	Segi Empat	0.6	0.55		23.62	0.0014	Beton
		J9	5.011							
18	C18	J9	5.011	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton
		J10	5.000							
19	C19	J10	5.000	Segi Empat	0.6	0.55		23	0.0014	Beton
		J11	4.966							
20	C20	J11	4.966	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton
		J12	4.955							
21	C21	J12	4.955	Segi Empat	0.6	0.55		23	0.0014	Beton
		J13	4.922							
22	C22	J13	4.922	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton



Lanjutan Tabel 4.2

No.	Nama	Node Inlet- Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Material
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
23	C23	J14 J14	4.910 4.910	Segi Empat	0.6	0.55		72.86	0.0014	Beton
24	C24	J15 J16	4.805 4.794	Lingkaran			0.6	8	0.0014	Beton
25	C25	J16 J17	4.794 4.742	Segi Empat	0.6	0.55		35.99	0.0014	Beton
26	C26	J17 Out1	4.742 4.704	Lingkaran			0.6	26.45	0.0014	Beton
27	C27	J46 J18	5.991 5.259	Segi Empat	0.6	0.35		183.011	0.0040	Beton
28	C28	J18 J19	5.259 5.235	Lingkaran			0.6	12.25	0.0019	Beton
29	C29	J79 J19	5.988 5.235	Segi Empat	0.6	0.35		104.7365	0.0072	Beton
30	C30	J19 J20	5.235 5.174	Segi Empat	0.6	0.55		31.97	0.0019	Beton
31	C31	J80 J20	5.688 5.174	Segi Empat	0.6	0.35		105.573	0.0049	Beton
32	C32	J91 J21	5.628 5.156	Segi Empat	0.6	0.35		112.009	0.0042	Beton
33	C33	J20 J21	5.174 5.156	Lingkaran			0.6	9	0.0019	Beton
34	C34	J21 J22	5.156 5.095	Segi Empat	0.6	0.55		31.97	0.0019	Beton
35	C35	J22 J23	5.095 5.078	Lingkaran			0.6	9	0.0019	Beton
36	C36	J23 J24	5.078 5.016	Segi Empat	0.6	0.55		31.97	0.0019	Beton
37	C37	J24 J25	5.016 4.999	Lingkaran			0.6	9	0.0019	Beton
38	C38	J25 J26	4.999 4.939	Segi Empat	0.6	0.55		31.13	0.0019	Beton
39	C39	J26 J27	4.939 4.921	Lingkaran			0.6	9	0.0019	Beton
40	C40	J27 J28	4.921 4.863	Segi Empat	0.6	0.55		30.03	0.0019	Beton
41	C41	J28 J29	4.863 4.846	Lingkaran			0.6	9	0.0019	Beton



50

Lanjutan Tabel 4.2

No.	Nama	Node Inlet- Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Material
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
42	C42	J29	4.846	Segi Empat	0.6	0.55		26.88	0.0019	Beton
		J30	4.794							
43	C43	J30	4.794	Lingkaran			0.6	10.67	0.0019	Beton
		J31	4.774							
44	C44	J31	4.774	Segi Empat	0.6	0.55		13.65	0.0019	Beton
		J32	4.747							
45	C45	J32	4.747	Lingkaran			0.6	26.27	0.0019	Beton
		Out2	4.697							
46	C46	J81	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		116.913	0.0046	Beton
		J22	5.095							
47	C47	J51	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		118.3575	0.0046	Beton
		J23	5.078							
48	C48	J52	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		123.736	0.0049	Beton
		J24	5.016							
49	C49	J84	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		125.1675	0.0050	Beton
		J25	4.999							
50	C50	J85	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		128.5075	0.0046	Beton
		J26	4.939							
51	C51	J86	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		129.0115	0.0047	Beton
		J27	4.921							
52	C52	J87	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		129.0465	0.0051	Beton
		J28	4.863							
53	C53	J88	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		129.583	0.0053	Beton
		J29	4.846							
54	C54	J92	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		129.583	0.0057	Beton
		J30	4.794							
55	C55	J89	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		130.0315	0.0058	Beton
		J31	4.774							
56	C56	J90	5.528	Segi Empat	0.6	0.35		130.12	0.0060	Beton
		J32	4.747							
57	C57	J75	5.991	Segi Empat	0.6	0.35		65.447	0.0112	Beton
		J76	5.259							
58	C58	J47	5.988	Segi Empat	0.6	0.35		104.7365	0.0071	Beton
		J74	5.249							
59	C59	J48	5.688	Segi Empat	0.6	0.35		105.573	0.0045	Beton
		J73	5.214							
60	C60	J49	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		112.009	0.0038	Beton
		J72	5.204							
61	C61	J50	5.628	Segi Empat	0.6	0.35		116.913	0.0039	Beton



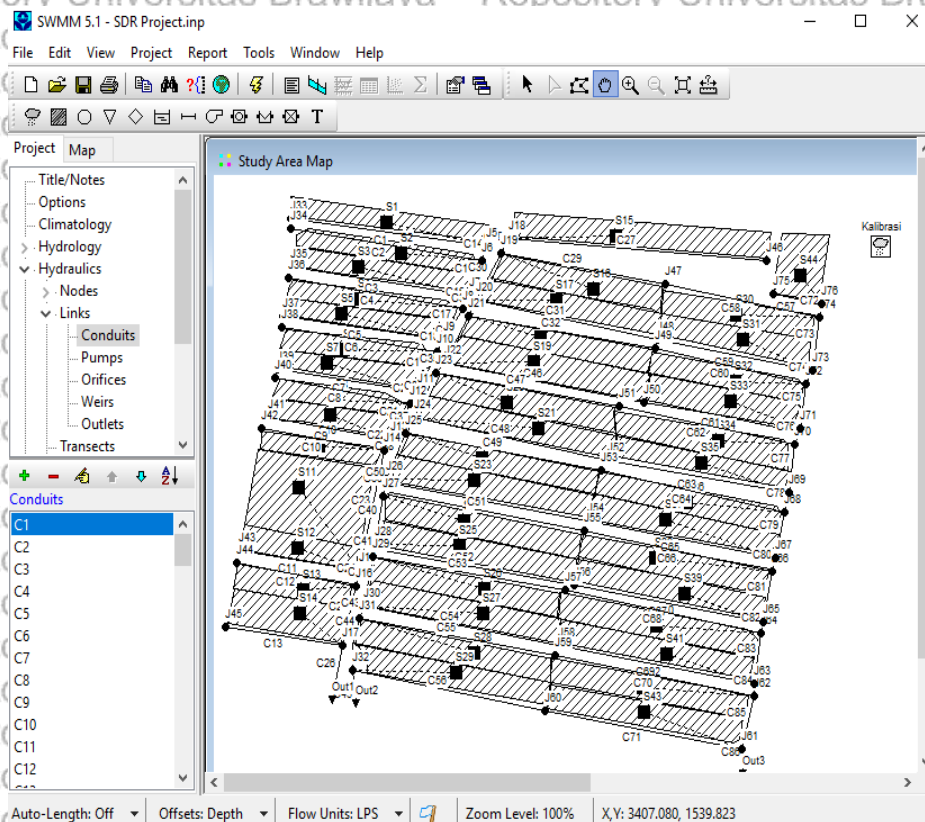
Lanjutan Tabel 4.2

No.	Nama	Node Inlet-Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Material
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
62	C62	J71 J51 J70	5.169 5.628 5.159	Segi Empat	0.6	0.35		118.3575	0.0040	Beton
63	C63	J52 J69	5.628 5.124	Segi Empat	0.6	0.35		123.736	0.0041	Beton
64	C64	J53 J68	5.628 5.113	Segi Empat	0.6	0.35		125.1675	0.0041	Beton
65	C65	J54 J67	5.528 5.079	Segi Empat	0.6	0.35		128.5075	0.0035	Beton
66	C66	J55 J66	5.528 5.068	Segi Empat	0.6	0.35		129.0115	0.0036	Beton
67	C67	J56 J65	5.528 5.034	Segi Empat	0.6	0.35		129.0465	0.0038	Beton
68	C68	J57 J64	5.528 5.023	Segi Empat	0.6	0.35		129.583	0.0039	Beton
69	C69	J58 J63	5.528 4.989	Segi Empat	0.6	0.35		129.583	0.0042	Beton
70	C70	J59 J62	5.528 4.978	Segi Empat	0.6	0.35		130.0315	0.0042	Beton
71	C71	J60 J61	5.528 4.944	Segi Empat	0.6	0.35		130.12	0.0045	Beton
72	C72	J76 J74	5.259 5.249	Lingkaran			0.6	9	0.0012	Beton
73	C73	J74 J73	5.249 5.214	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
74	C74	J73 J72	5.214 5.204	Lingkaran			0.6	9	0.0012	Beton
75	C75	J72 J71	5.204 5.169	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
76	C76	J71 J70	5.169 5.159	Lingkaran			0.6	9	0.0012	Beton
77	C77	J70 J69	5.159 5.124	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
78	C78	J69 J68	5.124 5.113	Lingkaran			0.6	9	0.0012	Beton
79	C79	J68 J67	5.113 5.079	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
80	C80	J67 J66	5.079 5.068	Lingkaran			0.6	9	0.0012	Beton

Lanjutan Tabel 4.2

No.	Nama	Node Inlet-Outlet	El. Dasar Inlet-Outlet	Penampang Saluran	H (m)	B (m)	D (m)	L (m)	s	Material
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}
81	C81	J66	5.068	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
		J65	5.034							
82	C82	J65	5.034	Lingkar			0.6	9	0.0012	Beton
		J64	5.023							
83	C83	J64	5.023	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
		J63	4.989							
84	C84	J63	4.989	Lingkar			0.6	9	0.0012	Beton
		J62	4.978							
85	C85	J62	4.978	Segi Empat	0.6	0.55		30	0.0012	Beton
		J61	4.944							
86	C86	J61	4.944	Lingkar			0.6	13.95	0.0012	Beton
		Out3	4.928							

Sumber: Hasil Analisa



Gambar 4.2 Hasil penggambaran peta jaringan Drainase menggunakan program SWMM.



4.3 Kalibrasi Model

Proses kalibrasi pada suatu pemodelan digunakan untuk mencari atau mengetahui nilai parameter DAS yang belum diketahui. Dalam tahap ini, parameter-parameter yang awalnya dianggap sesuai dengan kondisi di lapangan disimulasikan dan dibandingkan dengan debit-debit hasil observasi. Jika perlu, maka diubah nilai parameter-parameter pemodelan untuk mendapatkan hasil yang memuaskan antara data dengan hasil pengamatan.

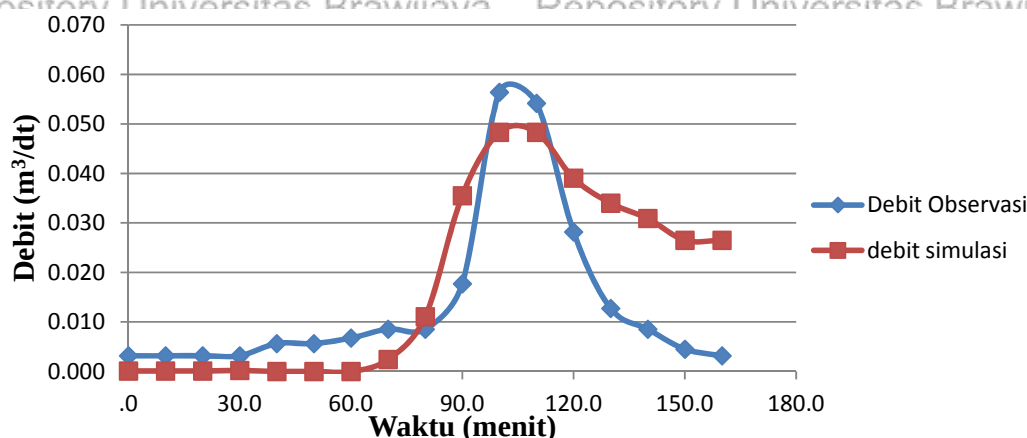
Pada proses kalibrasi digunakan data hujan hasil pengukuran dengan menggunakan penakar hujan sederhana yang dilaksanakan pada tanggal 15 November 2016. Dengan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) menghasilkan nilai sebesar 0.017 (1.7%) yang menunjukkan bahwa relatif kecil antara data observasi dengan hasil simulasi. Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang digunakan dalam pemodelan memiliki pendekatan yang cukup baik dengan kondisi di lapangan. Tabel perhitungan kalibrasi dengan metode RMSE ditampilkan pada Tabel 4.3 sedangkan perbandingan grafik hidrograf observasi dan simulasi ditampilkan pada gambar 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan Kalibrasi Metode RMSE

no	Saluran	waktu	Durasi (menit)	Data Observasi lapangan				Data Simulasi SWMM				Q1 - Q2
				h (m)	V	A	Q	h(m)	V	A	Q	
1	C26	14.20	0.00	0.040	0.039	0.081	0.003	0.010	0.010	0.010	0.000	0.00306
2		14.30	10.00	0.040	0.039	0.081	0.003	0.010	0.010	0.010	0.000	0.00306
3		14.40	20.00	0.040	0.039	0.081	0.003	0.010	0.010	0.010	0.000	0.00306
4		14.50	30.00	0.040	0.039	0.081	0.003	0.010	0.020	0.010	0.000	0.00295
5		15.00	40.00	0.050	0.050	0.113	0.006	0.000	0.020	0.000	0.000	0.00563
6		15.10	50.00	0.050	0.050	0.113	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00563
7		15.20	60.00	0.050	0.060	0.113	0.007	0.010	0.000	0.010	0.000	0.00675
8		15.30	70.00	0.060	0.058	0.147	0.009	0.040	0.030	0.081	0.002	0.00611
9		15.40	80.00	0.060	0.058	0.147	0.009	0.070	0.060	0.184	0.011	-0.00253
10		15.50	90.00	0.080	0.079	0.224	0.018	0.110	0.100	0.355	0.036	-0.01780
11		16.00	100.00	0.140	0.108	0.522	0.056	0.120	0.120	0.403	0.048	0.00807
12		16.10	110.00	0.130	0.120	0.451	0.054	0.120	0.120	0.403	0.048	0.00585
13		16.20	120.00	0.120	0.070	0.403	0.028	0.110	0.110	0.355	0.039	-0.01087
14		16.30	130.00	0.070	0.069	0.184	0.013	0.100	0.110	0.309	0.034	-0.02126
15		16.40	140.00	0.060	0.058	0.147	0.009	0.100	0.100	0.309	0.031	-0.02237
16		16.50	150.00	0.050	0.040	0.113	0.005	0.090	0.100	0.265	0.027	-0.02200
17		17.00	160.00	0.040	0.039	0.081	0.003	0.090	0.100	0.265	0.027	-0.02334

Sumber: Hasil Perhitungan

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2} = 0.017$$



Gambar 4.3 Perbandingan hidrograf debit observasi dengan debit simulasi

4.4 Analisa Hidrologi

4.4.1 Uji Konsistensi Data

4.4.1.1 Metode Outliner

Uji data hujan dilakukan dengan metode Outliner dan hasil daripada nilai ambang atas (XH) dengan menggunakan persamaan (2-1) sebesar 217.58 sedangkan nilai ambang bawah (XL) dengan menggunakan (2-2) diperoleh nilai sebesar 26.83. dengan perhitungan sebagaimana ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pemeriksaan Uji Outliner Stasiun Hujan Keputih

No.	Tahun	Bulan	Tanggal Kejadian	Sta. Keputih (mm)	X	Log X	Keterangan
1	1993	Januari	9	75	20	1,301	Nilai ambang atas
2	1994	Januari	7	20	47	1,672	XH = 217,58
3	1995	november	16	90	52	1,716	Nilai Ambang bawah
4	1996	november	16	90	54	1,732	XL = 26,83
5	1997	februari	13	115	63	1,799	
6	1999	desember	23	47	75	1,875	
7	2001	maret	2	82	78	1,892	
8	2002	Januari	30	123	78	1,892	
9	2003	Januari	31	54	82	1,914	
10	2004	Januari	7	52	85	1,929	
11	2005	maret	8	78	86	1,934	
12	2006	Januari	4	140	90	1,954	
13	2007	desember	26	63	90	1,954	
14	2008	Januari	16	86	90	1,954	
15	2009	Januari	9	120	115	2,061	
16	2010	desember	3	90	120	2,079	



Lanjutan Tabel 4.4

No.	Tahun	Bulan	Tanggal Kejadian	Sta. Keputih (mm)	X	Log X	Keterangan
17	2011	november	9	78	123	2.090	
18	2012	januari	30	85	140	2.146	
				Stdev	=	0.195	
				Rata-rata	=	1.883	
				Kn	=	2.335	

Sumber: Hasil perhitungan

Dari uji outliner yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa data hujan yang tidak termasuk dalam outliner ialah data hujan pada tahun 1994 sebesar 20 mm. hal tersebut dikarenakan data hujan pada tahun tersebut lebih kecil dari nilai ambang bawah data.

4.4.1.2 Metode RAPS

Untuk menguji konsistensi data hujan pada stasiun individual (*stand alone station*) digunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS), dengan perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 4.6.

Dari nilai yang didapatkan pada Tabel 4.5, tampak bahwa nilai Q hitung maksimum terdapat pada tahun 2006. Dengan menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4) diperoleh nilai $Q/n^{0.5}$ hitung sebesar 0.5. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kritis pada Tabel 2.2 dengan $n = 17$ dan *Confidence Interval* 95% = 1.18 (interpolasi). Terjadi nilai $Q/n^{0.5}$ hitung < $Q/n^{0.5}$ kritis. Hasil ini menunjukkan bahwa data hujan pada stasiun keputih adalah konsisten.

Tabel 4.5 Pemeriksaan Uji RAPS Pada Stasiun Hujan Keputih

No.	Tahun	Bulan	Tanggal Kejadian	Sta. Keputih (mm)	Sk*	(Sk*) ²	Sk**	Sk**
1	1993	januari	9	75	-11.35	128.89	-0.44	0.44
2	1995	november	16	90	3.65	13.30	0.14	0.14
3	1996	november	16	90	3.65	13.30	0.14	0.14
4	1997	februari	13	115	28.65	820.65	1.10	1.10
5	1999	desember	23	47	-39.35	1548.65	-1.51	1.51
6	2001	maret	2	82	-4.35	18.95	-0.17	0.17
7	2002	januari	30	123	36.65	1343.01	1.41	1.41
8	2003	januari	31	54	-32.35	1046.71	-1.24	1.24
9	2004	januari	7	52	-34.35	1180.12	-1.32	1.32
10	2005	maret	8	78	-8.35	69.77	-0.32	0.32
11	2006	januari	4	140	53.65	2878.01	2.06	2.06



56

Lanjutan Tabel 4.5

No.	Tahun	Bulan	Tanggal Kejadian	Sta. Keputih (mm)	Sk*	(Sk*) ²	SK**	SK**
12	2007	desember	26	63	-23.35	545.36	-0.90	0.90
13	2008	januari	16	86	-0.35	0.12	-0.01	0.01
14	2009	januari	9	120	33.65	1132.12	1.29	1.29
15	2010	desember	3	90	3.65	13.30	0.14	0.14
16	2011	november	9	78	-8.35	69.77	-0.32	0.32
17	2012	januari	30	85	-1.35	1.83	-0.05	0.05
JUMLAH				1468	0.00	10823.88	0.00	12.57
Rata - rata				86.35	0.00	636.70	0.00	0.74

Sumber: Hasil perhitungan

4.4.2 Analisa Distribusi Hujan

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi. Yang banyak dikenal dalam hidrologi antara lain: Distribusi Gumbel, Distribusi Normal, Distribusi Gamma Berparameter II, Distribusi Log Normal dan Distribusi Log Pearson III. Masing-masing distribusi memiliki sifat-sifat khas tersendiri, dengan demikian setiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat statistik.

Tabel 4.6 Perhitungan Analisa Distribusi Hujan

No.	Tahun	Sta. Keputih (mm)	X	(X-Xi)	(X-Xi) ²	(X-Xi) ³	(X-Xi) ⁴
1	1993	75	47	-39.35	1548.65	-60944.09	2398329.15
2	1995	90	52	-34.35	1180.12	-40540.75	1392693.99
3	1996	90	54	-32.35	1046.71	-33864.24	1095607.69
4	1997	115	63	-23.35	545.36	-12735.76	297417.38
5	1999	47	75	-11.35	128.89	-1463.27	16612.44
6	2001	82	78	-8.35	69.77	-582.80	4868.08
7	2002	123	78	-8.35	69.77	-582.80	4868.08
8	2003	54	82	-4.35	18.95	-82.48	359.03
9	2004	52	85	-1.35	1.83	-2.48	3.35
10	2005	78	86	-0.35	0.12	-0.04	0.02
11	2006	140	90	3.65	13.30	48.51	176.92
12	2007	63	90	3.65	13.30	48.51	176.92
13	2008	86	90	3.65	13.30	48.51	176.92
14	2009	120	115	28.65	820.65	23509.32	673472.95
15	2010	90	120	33.65	1132.12	38092.66	1281706.04
16	2011	78	123	36.65	1343.01	49217.25	1803667.59
17	2012	85	140	53.65	2878.01	154396.61	8282923.83
JUMLAH			1468	1468.00	0.00	10823.88	17253060.38
Rata - rata			86.35	86.35	0.00	636.70	1014885.90

Sumber: HasilPerhitungan



$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X}_i)^2}{n-1}} = 26.01 \text{ mm}$$

$$Cv = \frac{Sd}{\bar{X}_i} = 0.301 \text{ mm}$$

$$Cs = \frac{\sum (X - \bar{X}_i)^3 \cdot n}{(n-1)(n-2)S^3} = 0.461 \text{ mm}$$

$$Ck = \frac{\sum (X - \bar{X}_i)^4 \cdot n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} = 3.243 \text{ mm}$$

Tabel 4.7 Perbandingan Kesesuaian Hasil Analisa Distribusi Terhadap Pemakaian Distribusi Frekuensi

Data	Hasil	Distribusi			
		Normal	Gumbel	Log Pearson Type III	Log Normal
$\bar{X}_i$	86.4				
Sd	26.01				
Cs	0.46	0	1.139	Fleksibel	$Cs > 0$
Ck	3.24	3	5.402	Fleksibel	$Ck > 3$
Cv	0.30				

Sumber: Hasil Perhitungan

Dilihat dari hasil table 4.3, diketahui bahwa metode Distribusi Log Pearson Type III dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

4.4.3 Perhitungan Curah Hujan Rancangan dengan Metode Log Pearson III

Tahapan-tahapan perhitungan untuk mencari curah hujan rancangan Log Pearson Type III adalah sebagai berikut:

1. Mengurutkan data berdasarkan curah hujan terendah sampai yang tertinggi.

Tabel 4.8 Hujan Maksimum yang Sudah Diurutkan

No.	Tahun	X
1	1993	47.00
2	1995	52.00
3	1996	54.00
4	1997	63.00
5	1999	75.00
6	2001	78.00
7	2002	78.00
8	2003	82.00
9	2004	85.00
10	2005	86.00
11	2006	90.00
12	2007	90.00
13	2008	90.00
14	2009	115.00
15	2010	120.00
16	2011	123.00
17	2012	140.00

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Mengubah curah hujan harian maksimum dalam bentuk logaritma
3. Menghitung nilai logaritma rata-rata dengan Persamaan

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

$$\begin{aligned} \text{Log } \bar{X} &= \frac{\sum_{i=1}^n 32,60}{17} \\ &= 1,917 \text{ mm} \end{aligned}$$

4. Menghitung besar standar deviasinya (simpangan baku) dengan memasukkan harga $(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2$ yang terdapat pada Tabel 4.6 mulai dari tahun 1993 sampai dengan 2012. Dari Persamaan dapat dicari harga simpangan baku seperti di bawah ini.

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1}}$$



$$= 0.13335 \text{ mm}$$

5. Menghitung besarnya C_s dengan Persamaan

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

$$= \frac{0,01}{(20-1)(20-2)0,1268^3}$$

$$= -0.1953 \text{ mm}$$

6. Menghitung besarnya curah hujan rancangan untuk kala ulang yang telah ditentukan dengan memasukkan harga rerata $\log X$ mulai tahun tahun 1993 sampai dengan 2012 sebesar 1.917 mm, nilai K yang diperoleh dari Tabel Distribusi Log Pearson Type III untuk kala ulang 5 (lima) tahun sebesar 0.850 dan $S_d = 0.13335$ mm dimasukan kedalam Persamaan

$$\log X_{\text{rancangan}} = \log \bar{X} + G \cdot S_d$$

$$= 1,917 + (0,850 \times 0,13335)$$

$$= 2,031$$

$$X_{\text{rancangan}} = 107,36 \text{ mm}$$

Jadi, curah hujan rancangan kala ulang 5 (lima) tahun sebesar 107,36 mm. Untuk perhitungan Log Person III dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan Log Pearson III

No.	Tahun	X	Log X	(Log X - Log Xi)	(Log X - Log Xi) ²	(Log X - Log Xi) ³
1	1993	47.00	1.67	-0.25	0.060	-0.015
2	1995	52.00	1.72	-0.20	0.041	-0.008
3	1996	54.00	1.73	-0.18	0.034	-0.006
4	1997	63.00	1.80	-0.12	0.014	-0.002
5	1999	75.00	1.88	-0.04	0.002	0.000
6	2001	78.00	1.89	-0.03	0.001	0.000
7	2002	78.00	1.89	-0.03	0.001	0.000
8	2003	82.00	1.91	0.00	0.000	0.000
9	2004	85.00	1.93	0.01	0.000	0.000
10	2005	86.00	1.93	0.02	0.000	0.000



Lanjutan Tabel 4.9

No.	Tahun	X	Log X	(Log X - Log Xi)	(Log X - Log Xi) ²	(Log X - Log Xi) ³
11	2006	90.00	1.95	0.04	0.001	0.000
12	2007	90.00	1.95	0.04	0.001	0.000
13	2008	90.00	1.95	0.04	0.001	0.000
14	2009	115.00	2.06	0.14	0.021	0.003
15	2010	120.00	2.08	0.16	0.026	0.004
16	2011	123.00	2.09	0.17	0.030	0.005
17	2012	140.00	2.15	0.23	0.052	0.012
Jumlah		1468.00	32.60	0.00000	0.285	-0.007
Rerata (Xi)		86.353	1.917	0.000	0.017	0.000

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.4 Uji Kesesuaian Distribusi

4.4.4.1 Uji Smirnov-Kolmogorov

Contoh perhitungan untuk curah hujan tahun 1993 sampai dengan tahun 2013

Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung peluang empiris dengan memasukkan nomor urut data mulai dari yang terkecil sampai terbesar

$$S_n = \frac{1}{(17+1)}$$

$$= 0,0556$$

2. Mencari nilai logaritma dari data hujan rerata maksimum

$$\text{Log } 47 = 1,672$$

3. Mencari nilai G dengan persamaan

$$\text{Log } x = \text{Log } X + (G \times S_d)$$

$$G = (\text{Log } X - \text{Log } X_i) / S_d$$

$$= (1,672 - 1,917) / 0,1335$$

$$= -1,837$$

4. Mencari harga Pr melalui Tabel distribusi Log Pearson Type III, didapat Pr = 86.623%



5. Menghitung nilai $P(x)$

$$P(x) = (100 - 86.623) / 100$$

$$= 0,134$$

6. Menghitung selisih $Sn(x)$ dan $P(x)$ dengan Persamaan (2-5)

$$\Delta_{maks} = |0,0556 - 0,134|$$

$$= 0.078$$

7. Mencari nilai Δ_{cr} lalu bandingkan dengan Δ_{maks}

Dari tabel harga kritis uji smirnov-kolmogorov untuk $n = 17$, dan $\alpha = 5\%$ diperoleh

$\Delta_{cr} = 0.318$. Karena $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ maka data dapat diterima.

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Perhitungan Uji Kesesuaian Distribusi Smirnov-Kolmogorof

No.	Sn	X	Log (X)	G	Pr (%)	P (X)	Sn (X)-Px(X)
1	0.0556	47.00	1.672	-1.837	86.623	0.134	0.078
2	0.1111	52.00	1.716	-1.508	80.181	0.198	0.087
3	0.1667	54.00	1.732	-1.385	77.776	0.222	0.056
4	0.2222	63.00	1.799	-0.884	67.952	0.320	0.098
5	0.2778	75.00	1.875	-0.317	56.841	0.432	0.154
6	0.3333	78.00	1.892	-0.189	54.342	0.457	0.123
7	0.3889	78.00	1.892	-0.189	54.342	0.457	0.068
8	0.4444	82.00	1.914	-0.027	51.155	0.488	0.044
9	0.5000	85.00	1.929	0.090	47.875	0.521	0.021
10	0.5556	86.00	1.934	0.128	46.479	0.535	0.020
11	0.6111	90.00	1.954	0.276	41.053	0.589	0.022
12	0.6667	90.00	1.954	0.276	41.053	0.589	0.077
13	0.7222	90.00	1.954	0.276	41.053	0.589	0.133
14	0.7778	115.00	2.061	1.073	14.923	0.851	0.073
15	0.8333	120.00	2.079	1.212	12.652	0.873	0.040
16	0.8889	123.00	2.090	1.292	11.335	0.887	0.002
17	0.9444	140.00	2.146	1.713	4.429	0.956	0.011
Jumlah			32.595			Jumlah	1.108
Rerata			1.917			Max	0.154

Sumber: Hasil Perhitungan



4.4.4.2 Uji Chi Square

Contoh perhitungan untuk curah hujan tahun 1993 sampai dengan tahun 2012, Langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan banyak kelas dengan Persamaan (2-18)

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya kelas} &= 1 + 3,322 \log n \\ &= 1 + 3,322 \log 17 \\ &= 4,96 = 5 \text{ (dibulatkan)} \end{aligned}$$

2. Mencari harga Pr berdasarkan jumlah kelas, jika jumlah kelas 5 maka harga Pr tiap kelas adalah 20%.

3. Menghitung nilai X:

Untuk Pr = 80%, dan Cs = -0.1953, didapatkan nilai G = -1,5762 (dari Tabel Distribusi Log Pearson Type III).

$$\begin{aligned} \log X &= \log X_i + G \cdot S_d \\ &= 1,92 + (-1,5762 \cdot 0,1335) \\ &= 1,7069 \end{aligned}$$

$$X = 50,9234 \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Perhitungan Nilai Batas

No.	Pr	Log X _{rt}	Cs	G	Sd	Log X	X (mm)
1	80	1.92	-0.1953	-1.5762	0.1335	1.7069	50.9234
2	60	1.92	-0.1953	-0.6728	0.1335	1.8275	67.2273
3	40	1.92	-0.1953	0.2306	0.1335	1.9482	88.7512
4	20	1.92	-0.1953	1.1340	0.1335	2.0688	117.1662

Sumber: Hasil Perhitungan

4. Menghitung nilai frekuensi teoritis (E_j):

$$\begin{aligned} E_j &= n / \text{jumlah kelas} \\ &= 17 / 5 \\ &= 3,4 \end{aligned}$$



5. Menghitung X^2 dengan menjumlahkan nilai dari $\frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$

$$X^2_{hitung} = \sum \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} = 3.882$$

Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat dari Tabel 4.12

Tabel 4.12 Perhitungan Uji Chi-Square

No.	Batas Kelas	Jumlah Data		Oj - Ej	$\frac{(O_j - E_j)^2}{E_j}$
		Ej	Oj		
1	0 - 50.923	3.4	1	-2.4	1.694
2	50.923 - 67.227	3.4	3	-0.4	0.047
3	67.227 - 88.751	3.4	6	2.6	1.988
4	88.751 - 117.166	3.4	4	0.6	0.106
5	117.166 - ~	3.4	3	-0.4	0.047
Jumlah		17	17		3.882

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :

1. Nilai $X^2_{hitung} = 3.882$
2. df (derajat kepercayaan) = $k - m - 1 = 5 - 2 - 1 = 2$
3. Dapat diketahui bahwa :
dengan $\alpha = 5\%$ maka X^2 Tabel = 5,991 (Tabel 2.7)
dengan $\alpha = 1\%$ maka X^2 Tabel = 9,210 (Tabel 2.7)

Karena $X^2_{hitung} < X^2$ Tabel, maka distribusi Log Pearson dapat diterima.

4.4.5 Hubungan Intensitas Hujan – Waktu

Untuk keperluan perencanaan, curah hujan rancangan yang telah ditetapkan dari hasil analisa perlu diubah menjadi lengkung intensitas curah hujan. Lengkung tersebut dapat diperoleh berdasarkan data hujan dari stasiun hujan otomatis dengan rentang waktu yang pendek, misal: menit atau jam. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia maka lengkung intensitas dibuat menggunakan rumus Mononobe. Diketahui curah hujan rancangan harian maksimum kala ulang 5 tahun sebesar 107.36 mm, maka dengan

menggunakan persamaan (2-19) dapat dihitung intensitas hujan jam-jaman yang ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hubungan Intensitas Hujan – Waktu Kala Ulang 5 Tahun

Durasi (jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)
1	37.221
2	23.448
3	17.894
4	14.771
5	12.729
6	11.272

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan :

1. Diketahui bahwa curah hujan rancangan kala ulang 5 tahun sebesar 107.36 mm
2. Menghitung curah hujan satu jam dengan persmaan (2-19)

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} = \frac{107.36}{24} \left[\frac{24}{1} \right]^{2/3} = 37.221 \text{ mm}$$

Dengan demikian dari tabel 4.10 diperoleh intensitas hujan durasi selama 6 jam dengan kala ulang 5 tahun. Dan yang akan digunakan untuk simulasi ialah intensitas hujan dengan nilai terbesar yang mungkin terjadi yaitu intensitas hujan 1 jam.

4.5 Simulasi Kondisi Drainase Eksisting Dengan Hujan Kala Ulang 5 Tahun

4.5.1 Limpasan Permukaan (*Surface Runoff*)

Setelah kalibrasi, maka simulasi kondisi drainase daerah studi untuk mengetahui kondisi daerah tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan hujan kala ualang 5 tahun. Salah satu hasil simulasi pada program SWMM ialah limpasan permukaan yang erat kaitannya dengan studi mengenai drainase. Hasil selengkapnya simulasi limpasan permukaan per sub daerah tangkapan air (subcatchment) dapat kita lihat pada Tabel 4.11.



Tabel 4.14 Limpasan Permukaan Per Sub Daerah Tangkapan Air (*Subcatchment*)

No	Nama	Debit Puncak Limpasan (m ³ /dt)
{1}	{2}	{3}
1	S1	0.0227
2	S2	0.0215
3	S3	0.0207
4	S4	0.0196
5	S5	0.0186
6	S6	0.0178
7	S7	0.0166
8	S8	0.0157
9	S9	0.0150
10	S10	0.0139
11	S11	0.0397
12	S12	0.0169
13	S13	0.0165
14	S14	0.0364
15	S15	0.0425
16	S16	0.0299
17	S17	0.0228
18	S18	0.0237
19	S19	0.0245
20	S20	0.0252
21	S21	0.0255
22	S22	0.0265
23	S23	0.0269
24	S24	0.0272
25	S25	0.0271
26	S26	0.0273
27	S27	0.0271
28	S28	0.0274
29	S29	0.0343
30	S30	0.0324
31	S31	0.0240
32	S32	0.0246
33	S33	0.0251
34	S34	0.0258
35	S35	0.0264
36	S36	0.0272



Lanjutan Tabel 4.14

No	Nama	Debit Puncak Limpasan (m ³ /dt)
{1}	{2}	{3}
37	S37	0.0276
38	S38	0.0277
39	S39	0.0278
40	S40	0.0277
41	S41	0.0279
42	S42	0.0279
43	S43	0.0338
44	S44	0.0186

Sumber: Hasil Simulasi

4.5.2 Debit Limpasan Pada Saluran Drainase

Penelusuran banjir di saluran pada aplikasi SWMM menggunakan persamaan kontinuitas (konversi massa) dan persamaan momentum untuk *unsteady*, *gradually*, dan *varied flow* yaitu persamaan *saint venant*.

Untuk menyelesaikan persamaan ini, dipilih penelusuran dengan tipe *Dynamic Flow* karena memberikan hasil paling akurat secara teoritis. Hasil simulasi saluran drainase pada daerah studi dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.15 Simulasi Debit Limpasan Saluran Kondisi Eksisting Kala Ulang 5 tahun

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
1	C1	0.6	0.3	0.25	0.0227	Cukup
2	C2	0.6	0.3	0.21	0.0215	Cukup
3	C3	0.6	0.3	0.2	0.0207	Cukup
4	C4	0.6	0.3	0.19	0.0196	Cukup
5	C5	0.6	0.3	0.18	0.0186	Cukup
6	C6	0.6	0.3	0.17	0.0178	Cukup
7	C7	0.6	0.3	0.16	0.0166	Cukup



Lanjutan Tabel 4.15

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
8	C8	0.6	0.3	0.14	0.0157	Cukup
9	C9	0.6	0.3	0.13	0.0150	Cukup
10	C10	0.6	0.3	0.13	0.0139	Cukup
11	C11	0.6	0.4	0.14	0.0169	Cukup
12	C12	0.6	0.3	0.15	0.0165	Cukup
13	C13	0.6	0.4	0.28	0.0364	Cukup
14	C14	0.6	0.4	0.1	0.0216	Cukup
15	C15	0.6	0.5	0.16	0.0403	Cukup
16	C16	0.6	0.5	0.24	0.0596	Cukup
17	C17	0.6	0.5	0.28	0.0780	Cukup
18	C18	0.6	0.5	0.37	0.0955	Cukup
19	C19	0.6	0.5	0.62	0.1124	Cukup
20	C20	0.6	0.5	0.49	0.1283	Cukup
21	C21	0.6	0.5	0.5	0.1427	Cukup
22	C22	0.6	0.5	0.59	0.1573	Cukup
23	C23	0.6	0.6	0.55	0.1708	Genangan
24	C24	0.6	0.6	0.62	0.1753	Genangan
25	C25	0.6	0.6	0.59	0.1918	Genangan
26	C26	0.6	0.5	0.72	0.1941	Cukup
27	C27	0.6	0.3	0.42	0.0425	Cukup



Lanjutan Tabel 4.15

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
28	C28	0.6	0.4	0.19	0.0424	Cukup
29	C29	0.6	0.3	0.31	0.0299	Cukup
30	C30	0.6	0.5	0.27	0.0723	Cukup
31	C31	0.6	0.3	0.22	0.0228	Cukup
32	C32	0.6	0.3	0.22	0.0237	Cukup
33	C33	0.6	0.5	0.37	0.0951	Cukup
34	C34	0.6	0.5	0.4	0.1187	Cukup
35	C35	0.6	0.6	0.52	0.1431	Genangan
36	C36	0.6	0.6	0.53	0.1683	Genangan
37	C37	0.6	0.6	0.69	0.1938	Genangan
38	C38	0.6	0.6	0.69	0.2203	Genangan
39	C39	0.6	0.6	0.69	0.1935	Genangan
40	C40	0.6	0.6	0.69	0.2207	Genangan
41	C41	0.6	0.6	0.67	0.1892	Genangan
42	C42	0.6	0.6	0.67	0.2165	Genangan
43	C43	0.6	0.6	0.6	0.1686	Genangan
44	C44	0.6	0.6	0.6	0.1960	Genangan
45	C45	0.6	0.5	0.83	0.2237	Cukup
46	C46	0.6	0.3	0.21	0.0247	Cukup



Lanjutan Tabel 4.15

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
47	C47	0.6	0.3	0.22	0.0252	Cukup
48	C48	0.6	0.4	0.21	0.0255	Cukup
49	C49	0.6	0.3	0.23	0.0265	Cukup
50	C50	0.6	0.4	0.22	0.0269	Cukup
51	C51	0.6	0.3	0.23	0.0272	Cukup
52	C52	0.6	0.4	0.22	0.0271	Cukup
53	C53	0.6	0.3	0.23	0.0273	Cukup
54	C54	0.6	0.4	0.23	0.0271	Cukup
55	C55	0.6	0.3	0.22	0.0274	Cukup
56	C56	0.6	0.4	0.27	0.0343	Cukup
57	C57	0.6	0.3	0	0.0000	Cukup
58	C58	0.6	0.3	0.3	0.0324	Cukup
59	C59	0.6	0.3	0.21	0.0240	Cukup
60	C60	0.6	0.4	0.2	0.0246	Cukup
61	C61	0.6	0.4	0.2	0.0251	Cukup
62	C62	0.6	0.4	0.21	0.0258	Cukup
63	C63	0.6	0.4	0.21	0.0264	Cukup
64	C64	0.6	0.4	0.22	0.0272	Cukup
65	C65	0.6	0.4	0.21	0.0276	Cukup



70

Lanjutan Tabel 4.15

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
66	C66	0.6	0.4	0.22	0.0277	Cukup
67	C67	0.6	0.4	0.22	0.0278	Cukup
68	C68	0.6	0.4	0.23	0.0277	Cukup
69	C69	0.6	0.4	0.22	0.0279	Cukup
70	C70	0.6	0.4	0.23	0.0279	Cukup
71	C71	0.6	0.4	0.27	0.0338	Cukup
72	C72	0.6	0.5	0.07	0.0186	Cukup
73	C73	0.6	0.5	0.17	0.0509	Cukup
74	C74	0.6	0.6	0.27	0.0749	Genangan
75	C75	0.6	0.6	0.32	0.0995	Genangan
76	C76	0.6	0.6	0.44	0.1246	Genangan
77	C77	0.6	0.6	0.46	0.1504	Genangan
78	C78	0.6	0.6	0.52	0.1479	Genangan
79	C79	0.6	0.6	0.54	0.1751	Genangan
80	C80	0.6	0.6	0.52	0.1476	Genangan
81	C81	0.6	0.6	0.54	0.1753	Genangan
82	C82	0.6	0.6	0.52	0.1477	Genangan
83	C83	0.6	0.6	0.54	0.1754	Genangan
84	C84	0.6	0.6	0.52	0.1475	Genangan
85	C85	0.6	0.6	0.54	0.1754	Genangan

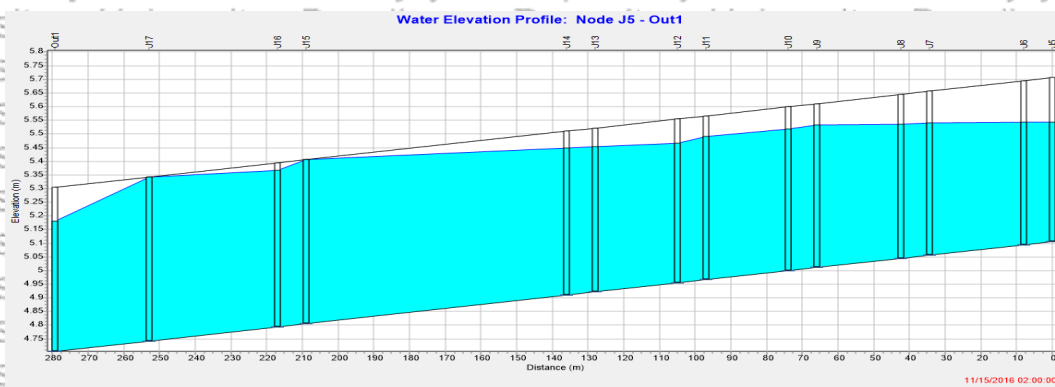


Lanjutan Tabel 4.15

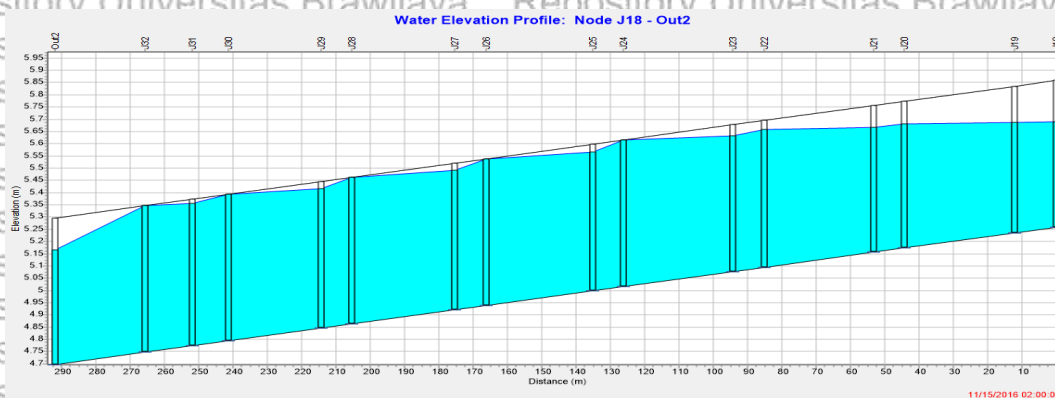
No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
86	C86	0.6	0.5	0.7	0.1861	Genangan

Sumber: Hasil Analisa

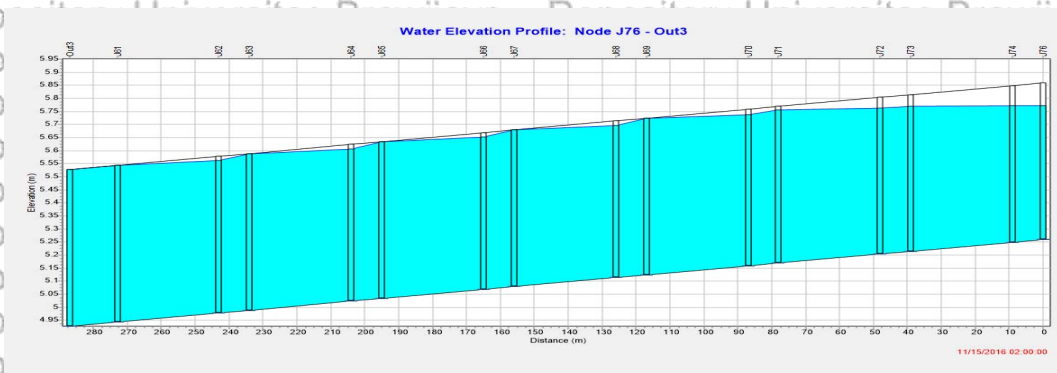
Dari hasil simulasi saluran drainase pada Tabel 4.15 dapat disimpulkan bahwa saluran drainase pada lokasi studi tidak mampu menampung air hujan dengan kala ulang 5 tahun. Hal tersebut terbukti dengan adanya genangan pada 26 titik. Profil muka air pada saluran yang mengalami genangan dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.4 Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J5 – Out1



Gambar 4.5 Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J18 – Out2



Gambar 4.6 Profil Muka Air Hasil Simulasi Kondisi Eksisting pada Simpul J76 – Out3

4.6 Perencanaan Rain Barrel

Rain Barrel direncanakan pada setiap rumah pada lokasi studi yang nantinya akan disambungkan langsung dengan talang atap rumah. *rain barrel* yang digunakan ialah berupa drum air berbahan plastik dengan keran di bagian bawah *rain barrel*. Untuk spesifikasinya, rencananya akan digunakan tangki air lokal dengan merek Penguin dengan kapasitas 650 liter. Berikut gambar dan dimensi *rain barrel*:



Gambar 4.7 Dimensi *Rain Barrel*

Dalam perencanaan ini, *rain barrel* akan dilengkapi dengan underdrain sehingga air yang tersimpan pada tampungan dapat dimanfaatkan maupun sekedar dialirkan. Waktu yang direncanakan untuk menguras satu unit *rain barrel* ialah 6 jam. Berdasarkan *Storm Water Management Model User's Manual version 5.1* untuk menghitung debit *outflow* underdrain pada *rain barrel* digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = C (h - H_d)^n$$

Keterangan:

Q = debit *outflow* (mm/jam)



C = koefisien Drainase

n = eksponen Drainase (0.5 untuk lubang)

H_d = tinggi keran dari alas *rain barrel* (mm)

h = tinggi *rain barrel* (mm)

Sedangkan rumus untuk mencari nilai C untuk nilai $n = 0.5$ adalah sebagai berikut:

$$C = 2 D^{0.5} / T$$

Keterangan:

C = koefisien drainase

D = kedalaman air penuh dalam *rain barrel* (mm)

T = waktu pengurasan (*drain*)

Maka, menghitung nilai C untuk *underdrain* dengan menggunakan rumus yang tertera di atas, tampilan gambar masukan *underdrain* pada aplikasi SWMM dapat dilihat pada Gambar 4.5.

$$C = 2 D^{0.5} / T$$

$$= 2 \times 1285^{0.5} / 6$$

$$= 11.948$$

LID Control Editor

Gambar 4.8 Tampilan perencanaan *rain barrel* di aplikasi EPA SWMM 5.1

Untuk jumlah *rain barrel* pada setiap rumah direncanakan beragam, mulai satu hingga dua unit *rain barrel* ditinjau dari saluran yang akan menerima aliran dari



subcatchment tersebut. Untuk tabel jumlah rain barrel yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 4.16. dan untuk gambar desain detail *rain barrel* dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.16 Jumlah *Unit Rain Barrel* tiap *Subcatchment*

No	Nama	A (m ²)	A (ha)	Jumlah Bangunan	Jenis	Jumlah Rain Barrel	A _{kedap} (m ²)	A _{atap} (m ²)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
1	S1	2203.564	0.220	20	Rumah	20	2100.54	1418.65
2	S2	2090.644	0.209	16	Rumah	16	2015.68	1301.57
3	S3	1999.204	0.200	17	Rumah	17	1953.57	1301.54
4	S4	1903.883	0.190	16	Rumah	16	1878.03	1225.69
5	S5	1807.097	0.181	14	Rumah	14	1753.81	1153.43
6	S6	1718.237	0.172	14	Rumah	14	1684.89	1076.07
7	S7	1614.776	0.161	12	Rumah	12	1553.54	1003.85
8	S8	1519.350	0.152	11	Rumah	11	1426.80	851.92
9	S9	1447.507	0.145	11	Rumah	11	1308.37	779.62
10	S10	1354.419	0.135	11	Rumah	11	1271.08	823.74
11	S11	3916.534	0.392	0	Lahan kosong	0	263.53	0.00
12	S12	1636.200	0.164	10	Rumah	10	1575.14	1113.89
13	S13	1601.084	0.160	9	Rumah	9	1535.65	1060.99
14	S14	3534.630	0.353	9	Rumah	9	3448.55	1497.06
15	S15	4107.928	0.411	22	Rumah	44	4017.96	2447.45
16	S16	2904.746	0.290	13	Rumah	26	2678.77	1393.38
17	S17	2212.430	0.221	18	Rumah	36	2163.04	1530.00
18	S18	2290.573	0.229	14	Rumah	28	2220.15	1605.89
19	S19	2366.220	0.237	18	Rumah	36	2292.75	1646.03
20	S20	2441.603	0.244	15	Rumah	30	2331.96	1696.14
21	S21	2472.143	0.247	14	Rumah	28	2429.57	1824.65
22	S22	2571.299	0.257	12	Rumah	24	2407.30	1741.35
23	S23	2601.723	0.260	19	Rumah	38	2499.51	1828.22
24	S24	2626.445	0.263	14	Rumah	28	2568.75	1889.93
25	S25	2619.332	0.262	14	Rumah	28	2546.60	1868.23
26	S26	2635.708	0.264	21	Rumah	42	2579.26	1902.53
27	S27	2623.962	0.262	17	Rumah	34	2578.08	1898.09
28	S28	2647.413	0.265	20	Rumah	40	2598.85	1925.75
29	S29	3316.719	0.332	17	Rumah	34	3236.13	1817.80
30	S30	3139.073	0.314	13	Rumah	26	2575.99	1441.62
31	S31	2323.472	0.232	18	Rumah	36	2265.77	1530.00
32	S32	2382.991	0.238	15	Rumah	30	2325.29	1551.36
33	S33	2429.809	0.243	18	Rumah	36	2372.11	1586.65
34	S34	2503.250	0.250	15	Rumah	30	2445.55	1633.21
35	S35	2554.052	0.255	14	Rumah	28	2496.35	1641.06
36	S36	2634.276	0.263	12	Rumah	24	2576.58	1723.65



Lanjutan Tabel 4.16

No	Nama	A (m ²)	A (ha)	Jumlah Bangunan	Jenis	Jumlah Rain Barrel	A _{kedap} (m ²)	A _{atap} (m ²)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
37	S37	2674.950	0.267	18	Rumah	36	2617.25	1765.40
38	S38	2683.082	0.268	14	Rumah	28	2625.38	1710.07
39	S39	2689.175	0.269	15	Rumah	30	2631.48	1731.77
40	S40	2683.048	0.268	21	Rumah	42	2625.35	1703.51
41	S41	2696.530	0.270	16	Rumah	32	2638.83	1770.55
42	S42	2697.141	0.270	20	Rumah	40	2639.44	1770.40
43	S43	3270.877	0.327	18	Rumah	36	3213.18	1754.98
44	S44	1799.702	0.180	1	masjid	5	1526.74	859.35
Jumlah				646		1125		

Sumber: Hasil Analisa

4.7 Perencanaan Ground Water Tank

Ground water tank direncanakan diletakan pada lahan hijau pada perumahan dengan kapasitas tampungan sebesar 16 m³. Dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang = 4 meter
- Lebar = 4 meter
- Tinggi = 1 meter

Ground Water Tank yang direncanakan akan ditanam dalam tanah dan dihubungkan dengan pipa pada tiap-tiap rumah. Pada saat hujan turun diharapkan air hujan dari tiap-tiap rumah dapat dialirkan pada *ground water tank* dan apabila tampungan telah penuh, maka langsung dialirkan pada saluran sekunder. Untuk proses pengosongan digunakan pompa pada masing masing tampungan dengan waktu pengosongan yang direncanakan ialah 6 jam.

Untuk jumlah *ground water tank* pada setiap subcatchment direncanakan beragam, mulai satu hingga dua *unit ground water tank* ditinjau dari saluran yang akan menerima aliran dari subcatchment tersebut. Untuk tabel jumlah *ground water tank* yang direncanakan dapat dilihat pada Tabel 4.17. dan untuk gambar desain detail *ground water tank* dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.17. Jumlah Ground Water Tank tiap Subcatchment

No	Nama	A (m ²)	A (ha)	Jumlah Bangunan	Jenis	Jumlah Tampungan Air	A _{kedap} (m ²)	A _{atap} (m ²)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
1	S1	2203.564	0.220	20	Rumah	1	95.32	1418.65



76

Lanjutan Tabel 4.17

No	Nama	A (m ²)	A (ha)	Jumlah Bangunan	Jenis	Jumlah Tampungan Air	A _{Kedap} (m ²)	A _{Atap} (m ²)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
2	S2	2090.644	0.209	16	Rumah	1	96.41	1301.57
3	S3	1999.204	0.200	17	Rumah	1	97.72	1301.54
4	S4	1903.883	0.190	16	Rumah	1	98.64	1225.69
5	S5	1807.097	0.181	14	Rumah	1	97.05	1153.43
6	S6	1718.237	0.172	14	Rumah	1	98.06	1076.07
7	S7	1614.776	0.161	12	Rumah	1	96.21	1003.85
8	S8	1519.350	0.152	11	Rumah	1	93.91	851.92
9	S9	1447.507	0.145	11	Rumah	1	90.39	779.62
10	S10	1354.419	0.135	11	Rumah	1	93.85	823.74
11	S11	3916.534	0.392	0	Lahan kosong	0	6.73	0.00
12	S12	1636.200	0.164	10	Rumah	1	96.27	1113.89
13	S13	1601.084	0.160	9	Rumah	1	95.91	1060.99
14	S14	3534.630	0.353	9	Rumah	1	97.56	1497.06
15	S15	4107.928	0.411	22	Rumah	2	97.81	2447.45
16	S16	2904.746	0.290	13	Rumah	2	92.22	1393.38
17	S17	2212.430	0.221	18	Rumah	2	97.77	1530.00
18	S18	2290.573	0.229	14	Rumah	2	96.93	1605.89
19	S19	2366.220	0.237	18	Rumah	2	96.90	1646.03
20	S20	2441.603	0.244	15	Rumah	2	95.51	1696.14
21	S21	2472.143	0.247	14	Rumah	2	98.28	1824.65
22	S22	2571.299	0.257	12	Rumah	2	93.62	1741.35
23	S23	2601.723	0.260	19	Rumah	2	96.07	1828.22
24	S24	2626.445	0.263	14	Rumah	2	97.80	1889.93
25	S25	2619.332	0.262	14	Rumah	2	97.22	1868.23
26	S26	2635.708	0.264	21	Rumah	2	97.86	1902.53
27	S27	2623.962	0.262	17	Rumah	2	98.25	1898.09
28	S28	2647.413	0.265	20	Rumah	2	98.17	1925.75
29	S29	3316.719	0.332	17	Rumah	2	97.57	1817.80
30	S30	3139.073	0.314	13	Rumah	2	82.06	1441.62
31	S31	2323.472	0.232	18	Rumah	2	97.52	1530.00
32	S32	2382.991	0.238	15	Rumah	2	97.58	1551.36
33	S33	2429.809	0.243	18	Rumah	2	97.63	1586.65
34	S34	2503.250	0.250	15	Rumah	2	97.70	1633.21
35	S35	2554.052	0.255	14	Rumah	2	97.74	1641.06
36	S36	2634.276	0.263	12	Rumah	2	97.81	1723.65
37	S37	2674.950	0.267	18	Rumah	2	97.84	1765.40
38	S38	2683.082	0.268	14	Rumah	2	97.85	1710.07
39	S39	2689.175	0.269	15	Rumah	2	97.85	1731.77
40	S40	2683.048	0.268	21	Rumah	2	97.85	1703.51



Lanjutan Tabel 4.17

No	Nama	A (m ²)	A (ha)	Jumlah Bangunan	Jenis	Jumlah Tampungan Air	A _{kedap} (m ²)	A _{atap} (m ²)
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
41	S41	2696.530	0.270	16	Rumah	2	97.86	1770.55
42	S42	2697.141	0.270	20	Rumah	2	97.86	1770.40
43	S43	3270.877	0.327	18	Rumah	2	98.24	1754.98
44	S44	1799.702	0.180	1	masjid	0	84.83	859.35
Jumlah				626		70		

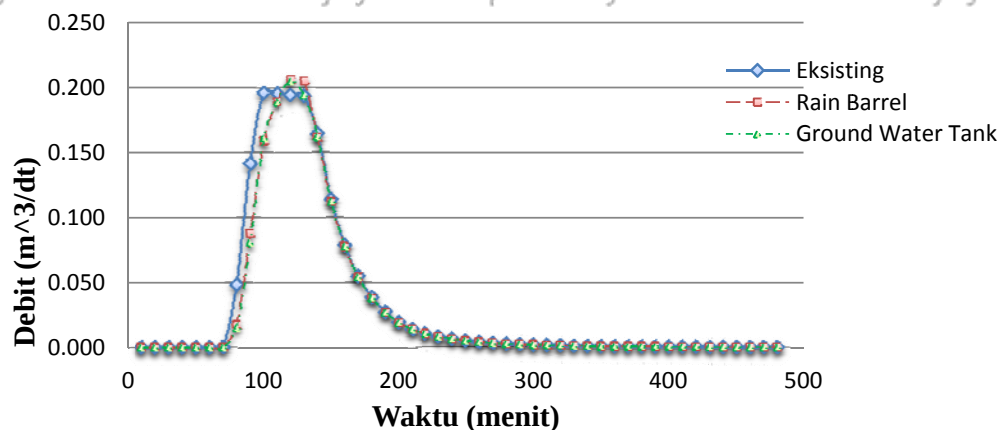
Sumber: Hasil Analisa

4.8 Simulasi Penerapan Rain Water Harvesting

Setelah direncanakan bangunan rain water harvesting berupa rain barrel dan Ground Water Tank maka dapat dilakukan simulasi dengan menggunakan program SWMM dengan penerapan rain water harvesting dengan mengisi properti LID Control For Subcatchment dan LID Control Editor. Simulasi dilakukan dengan dua tahapan yaitu pertama disimulasikan dengan penerapan tiap-tiap struktur, kemudian yang kedua disimulasikan dengan penerapan dua struktur sekaligus.

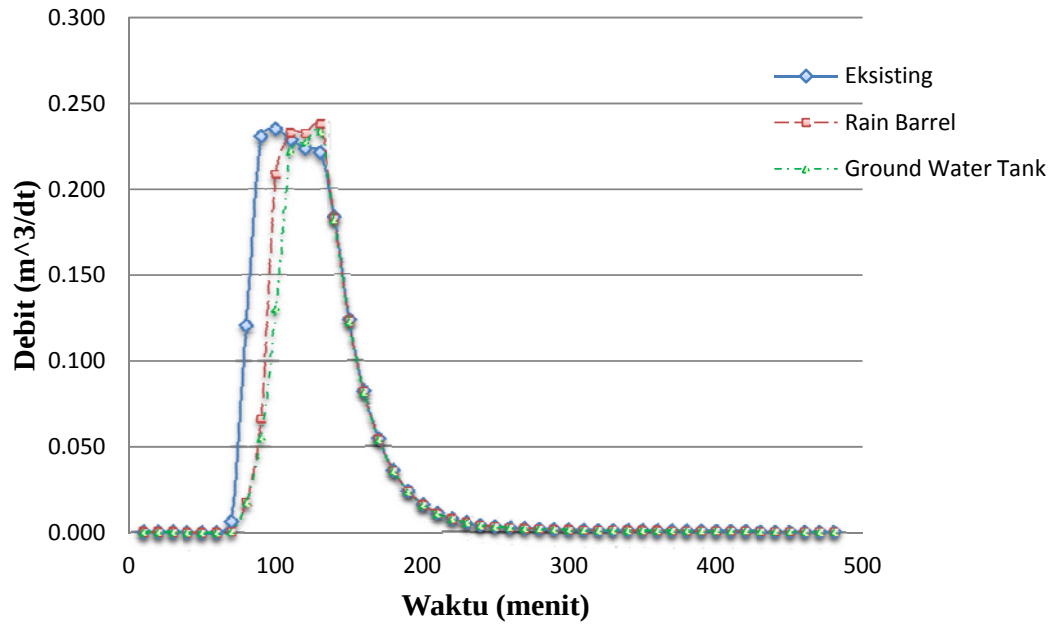
4.8.1 Simulasi Tiap-Tiap Struktur Rain Water Harvesting

Sebelum dilakukan simulasi dengan menggunakan dua struktur yang telah direncanakan, ada baiknya untuk melakukan simulasi dengan tiap-tiap struktur untuk mengetahui berapa reduksi debit pada setiap struktur. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11.

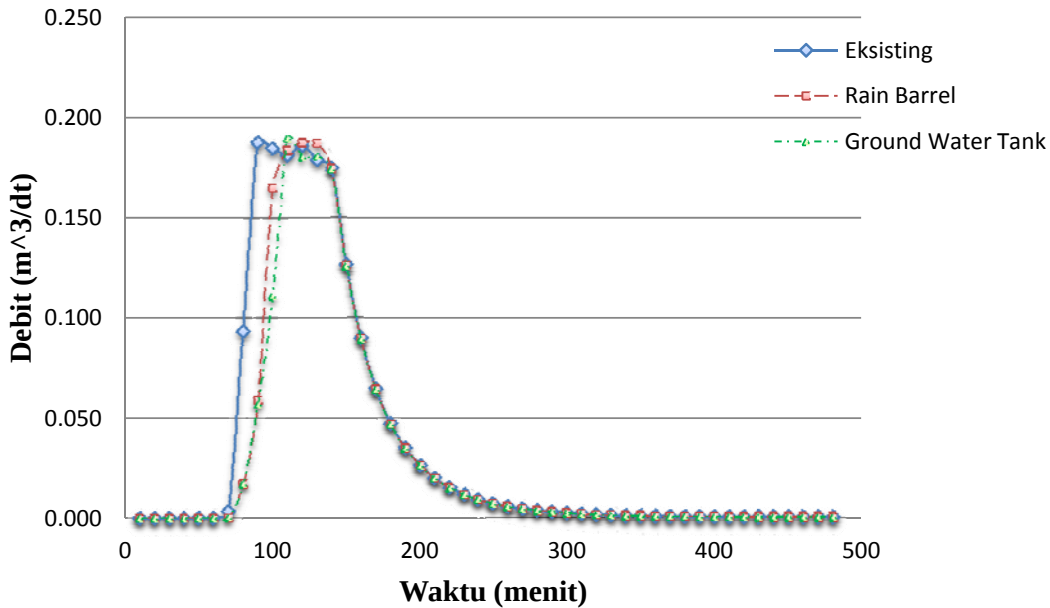


Gambar 4.9 Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur rain water harvesting pada Outlet 1 pada Perumahan Sukolilo Dian Regency

78



Gambar 4.10 Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur *rain water harvesting* pada Outlet 2 pada Perumahan Sukolilo Dian Regenncy



Gambar 4.11 Hidrograf perbandingan tiap-tiap struktur *rain water harvesting* pada Outlet 3 pada Perumahan Sukolilo Dian Regenncy

Dari hasil simulasi diketahui bahwa masing-masing struktur memiliki pengaruh yang berbeda pada setiap saluran. Pada outlet 1 dengan penerapan rain barrel pada setiap



rumah dapat menambah debit puncak sebesar 6 % sedangkan dengan penerapan ground water tank menambah debit puncak sebesar 5.4 % pada saat hujan kala ulang 5 tahun. Untuk outlet 2 dengan penerapan rain barrel pada setiap rumah dapat menambah debit puncak sebesar 3.8 % sedangkan dengan penerapan ground water tank menambah debit puncak sebesar 1.6 % pada saat hujan kala ulang 5 tahun. Sedangkan outlet 3 dengan penerapan rain barrel pada setiap rumah dapat menambah debit puncak sebesar 0.7 % sedangkan dengan penerapan ground water tank mengurangi debit puncak sebesar 3 % pada saat hujan kala ulang 5 tahun.

4.8.2 Simulasi Struktur *Rain Water Harvesting*

Setelah dilakukan simulasi dengan masing-masing struktur rain water harvesting, maka dilakukan simulasi dengan kombinasi dua struktur rain water harvesting yang telah direncanakan. Ringkasan hasil simulasi pada seluruh saluran dan Sub Daerah Tangkapan Air dapat dilihat pada Tabel 4.18 serta hasil simulasi tinggi muka air pada node saluran sekunder dapat dilihat pada Tabel 4.19, 4.20 dan 4.21.

Tabel 4.18 Simulasi Debit Limpasan Saluran dengan Penerapan *Rain Water Harvesting* Kala Ulang 5 tahun

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
1	C1	0.6	0.22	0.3	0.0227	Cukup
2	C2	0.6	0.24	0.25	0.0210	Cukup
3	C3	0.6	0.25	0.24	0.0207	Cukup
4	C4	0.6	0.25	0.23	0.0196	Cukup
5	C5	0.6	0.26	0.21	0.0186	Cukup
6	C6	0.6	0.26	0.2	0.0178	Cukup
7	C7	0.6	0.26	0.18	0.0166	Cukup



Lanjutan Tabel 4.18

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
8	C8	0.6	0.27	0.16	0.0152	Cukup
9	C9	0.6	0.26	0.16	0.0150	Cukup
10	C10	0.6	0.26	0.15	0.0139	Cukup
11	C11	0.6	0.32	0.15	0.0169	Cukup
12	C12	0.6	0.29	0.16	0.0165	Cukup
13	C13	0.6	0.35	0.3	0.0364	Cukup
14	C14	0.6	0.36	0.11	0.0185	Cukup
15	C15	0.6	0.38	0.14	0.0287	Cukup
16	C16	0.6	0.40	0.22	0.0442	Cukup
17	C17	0.6	0.42	0.25	0.0589	Cukup
18	C18	0.6	0.44	0.33	0.0727	Cukup
19	C19	0.6	0.44	0.56	0.0861	Cukup
20	C20	0.6	0.44	0.44	0.0982	Cukup
21	C21	0.6	0.45	0.41	0.1017	Cukup
22	C22	0.6	0.47	0.47	0.1118	Cukup
23	C23	0.6	0.51	0.42	0.1193	Cukup
24	C24	0.6	0.54	0.61	0.1629	Cukup
25	C25	0.6	0.54	0.58	0.1725	Cukup
26	C26	0.6	0.56	0.75	0.2071	Cukup
27	C27	0.6	0.19	0.63	0.0420	Cukup



Lanjutan Tabel 4.18

No	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m³/dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
47	C47	0.6	0.20	0.23	0.0163	Cukup
48	C48	0.6	0.23	0.2	0.0160	Cukup
49	C49	0.6	0.22	0.22	0.0174	Cukup
50	C50	0.6	0.25	0.18	0.0156	Cukup
51	C51	0.6	0.24	0.21	0.0180	Cukup
52	C52	0.6	0.26	0.19	0.0173	Cukup
53	C53	0.6	0.25	0.17	0.0145	Cukup
54	C54	0.6	0.27	0.19	0.0178	Cukup
55	C55	0.6	0.25	0.2	0.0174	Cukup
56	C56	0.6	0.27	0.26	0.0246	Cukup
57	C57	0.6	0.17	0	0.0000	Cukup
58	C58	0.6	0.22	0.33	0.0247	Cukup
59	C59	0.6	0.23	0.2	0.0156	Cukup
60	C60	0.6	0.23	0.2	0.0163	Cukup
61	C61	0.6	0.24	0.14	0.0120	Cukup
62	C62	0.6	0.25	0.2	0.0172	Cukup
63	C63	0.6	0.26	0.19	0.0177	Cukup
64	C64	0.6	0.26	0.2	0.0181	Cukup
65	C65	0.6	0.28	0.17	0.0170	Cukup
66	C66	0.6	0.28	0.19	0.0187	Cukup



82

Lanjutan Tabel 4.18

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
67	C67	0.6	0.29	0.19	0.0187	Cukup
68	C68	0.6	0.26	0.11	0.0099	Cukup
69	C69	0.6	0.29	0.18	0.0185	Cukup
70	C70	0.6	0.27	0.15	0.0136	Cukup
71	C71	0.6	0.29	0.23	0.0228	Cukup
72	C72	0.6	0.34	0.09	0.0147	Cukup
73	C73	0.6	0.36	0.17	0.0334	Cukup
74	C74	0.6	0.38	0.23	0.0429	Cukup
75	C75	0.6	0.40	0.24	0.0527	Cukup
76	C76	0.6	0.42	0.28	0.0581	Cukup
77	C77	0.6	0.43	0.29	0.0686	Cukup
78	C78	0.6	0.45	0.35	0.0795	Cukup
79	C79	0.6	0.46	0.36	0.0908	Cukup
80	C80	0.6	0.47	0.43	0.1009	Cukup
81	C81	0.6	0.48	0.43	0.1128	Cukup
82	C82	0.6	0.48	0.52	0.1247	Cukup
83	C83	0.6	0.48	0.48	0.1278	Cukup
84	C84	0.6	0.48	0.58	0.1394	Cukup
85	C85	0.6	0.47	0.56	0.1458	Cukup



Lanjutan Tabel 4.18

No.	Nama	H saluran (m)	H max (m)	V (m/dt)	Q max (m ³ /dt)	Keterangan
{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
86	C86	0.6	0.46	0.69	0.1611	Cukup

Sumber: Hasil Simulasi

Tabel 4.19 Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 1 dengan Penerapan *Rain Water Harvesting* Kala Ulang 5 tahun

No	Nama node	H node (m)	H max (m)	Keterangan
1	J5	0.6	0.35	Cukup
2	J6	0.6	0.36	Cukup
3	J7	0.6	0.40	Cukup
4	J8	0.6	0.41	Cukup
5	J9	0.6	0.44	Cukup
6	J10	0.6	0.44	Cukup
7	J11	0.6	0.45	Cukup
8	J12	0.6	0.44	Cukup
9	J13	0.6	0.47	Cukup
10	J14	0.6	0.47	Cukup
11	J15	0.6	0.55	Cukup
12	J16	0.6	0.53	Cukup
13	J17	0.6	0.56	Cukup
14	Out1	0.6	0.57	Cukup

Sumber: Hasil Simulasi

Tabel 4.20 Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 2 dengan Penerapan *Rain Water Harvesting* Kala Ulang 5 tahun

No	Nama node	H node (m)	H max (m)	Keterangan
1	J18	0.6	0.23	Cukup
2	J19	0.6	0.24	Cukup
3	J20	0.6	0.29	Cukup
4	J21	0.6	0.29	Cukup
5	J22	0.6	0.34	Cukup
6	J23	0.6	0.33	Cukup
7	J24	0.6	0.38	Cukup



Lanjutan Tabel 4.20

No	Nama node	H node (m)	H max (m)	Keterangan
8	J25	0.6	0.37	Cukup
9	J26	0.6	0.42	Cukup
10	J27	0.6	0.41	Cukup
11	J28	0.6	0.45	Cukup
12	J29	0.6	0.43	Cukup
13	J30	0.6	0.46	Cukup
14	J31	0.6	0.44	Cukup
15	J32	0.6	0.45	Cukup
16	out2	0.6	0.39	Cukup

Sumber: Hasil Simulasi

Tabel 4.21 Simulasi Tinggi Muka Air Node Saluran Sekunder 3 dengan Penerapan *Rain Water Harvesting* Kala Ulang 5 tahun

No	Nama node	H node (m)	H max (m)	Keterangan
1	J76	0.6	0.34	Cukup
2	J74	0.6	0.35	Cukup
3	J73	0.6	0.38	Cukup
4	J72	0.6	0.38	Cukup
5	J71	0.6	0.42	Cukup
6	J70	0.6	0.42	Cukup
7	J69	0.6	0.45	Cukup
8	J68	0.6	0.45	Cukup
9	J67	0.6	0.47	Cukup
10	J66	0.6	0.46	Cukup
11	J65	0.6	0.49	Cukup
12	J64	0.6	0.47	Cukup
13	J63	0.6	0.49	Cukup
14	J62	0.6	0.47	Cukup
15	J61	0.6	0.48	Cukup
16	Out3	0.6	0.44	Cukup

Sumber: Hasil Simulasi

4.9 Analisa Reduksi Debit Limpasan

Simulasi dengan menggunakan aplikasi EPA SWMM merupakan pendekatan teoritis untuk mengetahui efektifitas penerapan metode *rain water harvesting* berupa *rain barrel* (tandon air) dan *Ground water tank* terhadap penurunan debit puncak aliran permukaan.



Sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.22 tentang rekapitulasi pengaruh penerapan metode *rain water harvesting* terhadap debit puncak pada setiap saluran. Lokasi studi memiliki tiga saluran sekunder dan pada setiap sub daerah tangkapan air derencanakan *rain barrel* dan *ground water tank* dengan jumlah yang berbeda sesuai dengan jumlah rumah dan lahan yang ada. Pada *outlet* sekunder 1, direncanakan 170 unit *rain barrel* dan 13 unit *ground water tank* pada setiap sub daerah tangkapan air mulai dari S1 sampai S14 sehingga diperoleh debit sebesar 0.194 m³/dt menjadi 0.207 m³/dt, atau bertambah sekitar 6.73 %. Meskipun debit pada saluran sekunder 1 terkesan mengalami peningkatan namun nyatanya muka air pada saluran menurun dan dapat mengatasi genangan. Pada *outlet* sekunder 2, direncanakan 496 unit *rain barrel* dan 15 unit *ground water tank* pada setiap sub daerah tangkapan air mulai S15 sampai S29 sehingga diperoleh debit sebesar 0.224 m³/dt menjadi 0.178 m³/dt, atau berkurang sekitar 20.42 %. Sedangkan pada *outlet* sekunder 3, direncanakan 459 unit *rain barrel* dan 15 unit *ground water tank* pada setiap sub daerah tangkapan air mulai S15 sampai S29 sehingga diperoleh debit sebesar 0.186 m³/dt menjadi 0.161 m³/dt, atau berkurang sekitar 13.44 %.

Tabel 4.22 Rekapitulasi Pengaruh Penerapan Metode Rain Water Harvesting Terhadap Debit Limpasan Saluran

No	Nama Saluran	Debit Saluran		Reduksi (%)
		Eksisting (m/dt)	RWH (m ³ /dt)	
1	C1	0.0227	0.0227	0.00
2	C2	0.0215	0.0210	2.24
3	C3	0.0207	0.0207	0.00
4	C4	0.0196	0.0196	0.00
5	C5	0.0186	0.0186	0.00
6	C6	0.0178	0.0178	0.00



Lanjutan Tabel 4.22

No	Nama Saluran	Debit Saluran		Reduksi (%)
		Eksisting (m/dt)	RWH (m ³ /dt)	
7	C7	0.0166	0.0166	0.00
8	C8	0.0157	0.0152	3.25
9	C9	0.0150	0.0150	0.00
10	C10	0.0139	0.0139	0.00
11	C11	0.0169	0.0169	0.06
12	C12	0.0165	0.0165	0.00
13	C13	0.0364	0.0364	0.00
14	C14	0.0216	0.0185	14.52
15	C15	0.0403	0.0287	28.72
16	C16	0.0596	0.0442	25.80
17	C17	0.0780	0.0589	24.57
18	C18	0.0955	0.0727	23.90
19	C19	0.1124	0.0861	23.35
20	C20	0.1283	0.0982	23.45
21	C21	0.1427	0.1017	28.77
22	C22	0.1573	0.1118	28.90
23	C23	0.1708	0.1193	30.15
24	C24	0.1753	0.1629	7.03
25	C25	0.1918	0.1725	10.04
26	C26	0.1941	0.2071	-6.73



Lanjutan Tabel 4.22

No	Nama Saluran	Debit Saluran		Reduksi (%)
		Eksisting (m/dt)	RWH (m ³ /dt)	
27	C27	0.0425	0.0420	1.01
28	C28	0.0424	0.0375	11.67
29	C29	0.0299	0.0225	24.82
30	C30	0.0723	0.0551	23.73
31	C31	0.0228	0.0083	63.57
32	C32	0.0237	0.0152	35.80
33	C33	0.0951	0.0582	38.81
34	C34	0.1187	0.0673	43.30
35	C35	0.1431	0.0737	48.49
36	C36	0.1683	0.0834	50.45
37	C37	0.1938	0.0926	52.23
38	C38	0.2203	0.1030	53.23
39	C39	0.1935	0.1115	42.39
40	C40	0.2207	0.1223	44.59
41	C41	0.1892	0.1323	30.10
42	C42	0.2165	0.1392	35.71
43	C43	0.1686	0.1495	11.32
44	C44	0.1960	0.1604	18.16
45	C45	0.2237	0.1780	20.42



Lanjutan Tabel 4.22

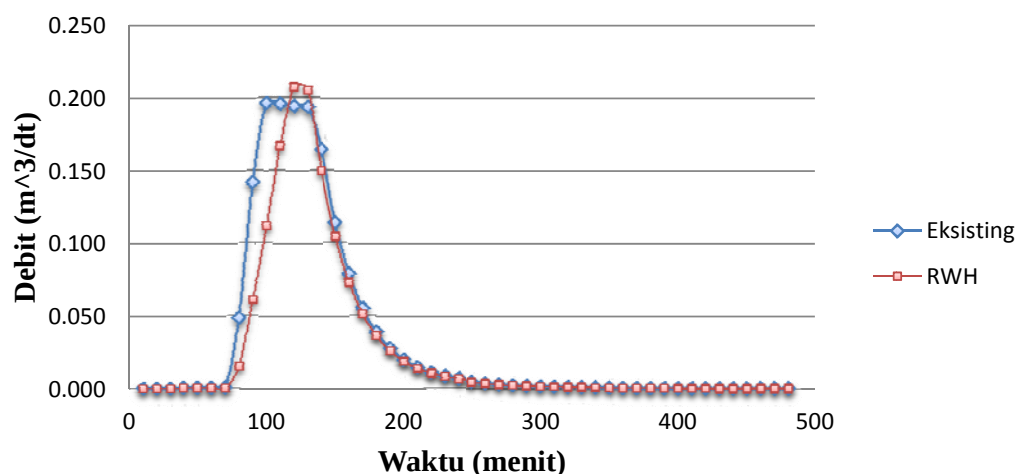
No	Nama Saluran	Debit Saluran		Reduksi (%)
		Eksisting (m/dt)	RWH (m ³ /dt)	
65	C65	0.0276	0.0170	38.35
66	C66	0.0277	0.0187	32.56
67	C67	0.0278	0.0187	32.88
68	C68	0.0277	0.0099	64.26
69	C69	0.0279	0.0185	33.66
70	C70	0.0279	0.0136	51.29
71	C71	0.0338	0.0228	32.69
72	C72	0.0186	0.0147	20.59
73	C73	0.0509	0.0334	34.46
74	C74	0.0749	0.0429	42.71
75	C75	0.0995	0.0527	46.97
76	C76	0.1246	0.0581	53.38
77	C77	0.1504	0.0686	54.40
78	C78	0.1479	0.0795	46.25
79	C79	0.1751	0.0908	48.13
80	C80	0.1476	0.1009	31.61
81	C81	0.1753	0.1128	35.63
82	C82	0.1477	0.1247	15.62
83	C83	0.1754	0.1278	27.17
84	C84	0.1475	0.1394	5.51



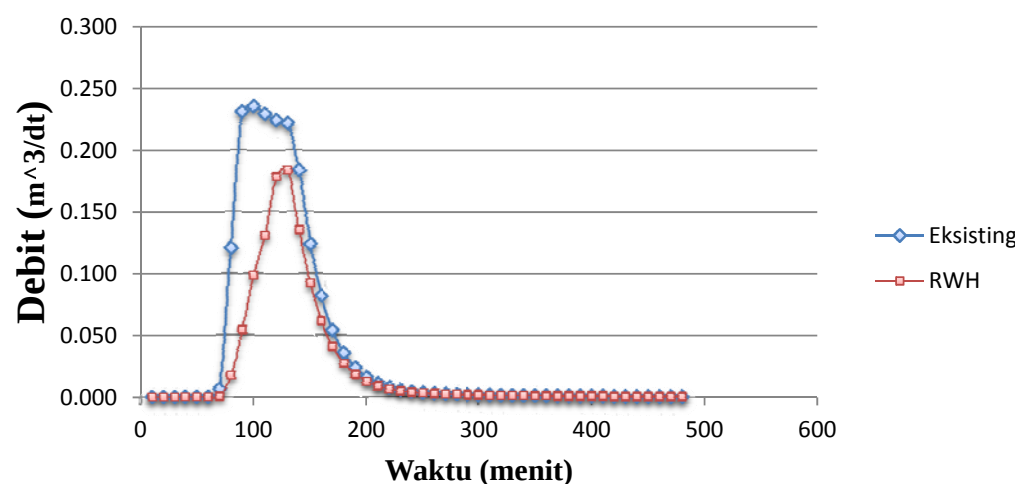
Lanjutan Tabel 4.22

No	Nama Saluran	Debit Saluran		Reduksi (%)
		Eksisting (m/dt)	RWH (m ³ /dt)	
85	C85	0.1754	0.1458	16.88
86	C86	0.1861	0.1611	13.45

Sumber: Hasil Analisa



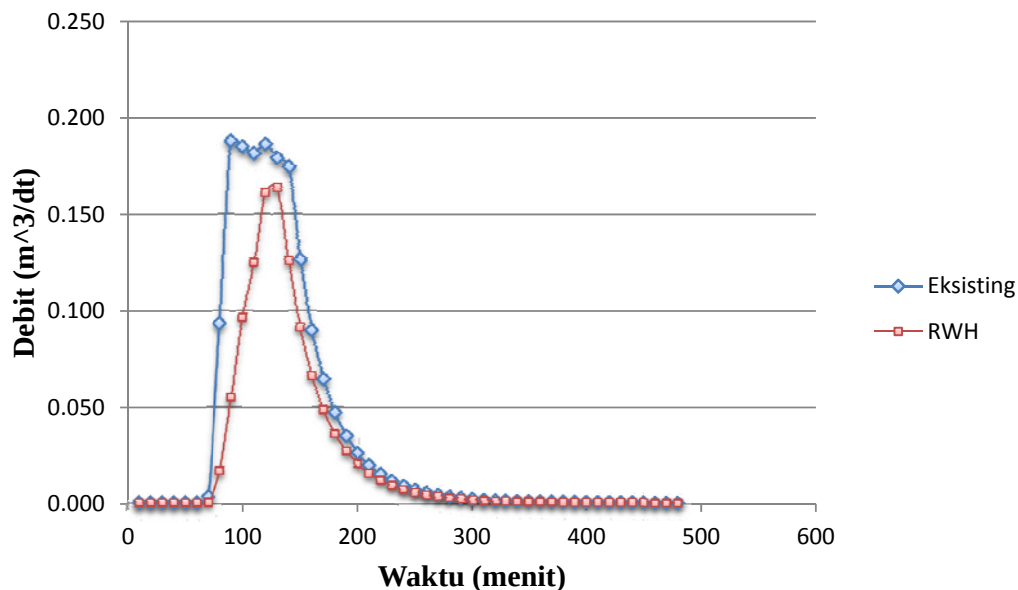
Gambar 4.12 Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan Rain Water Harvesting Pada Outlet 1



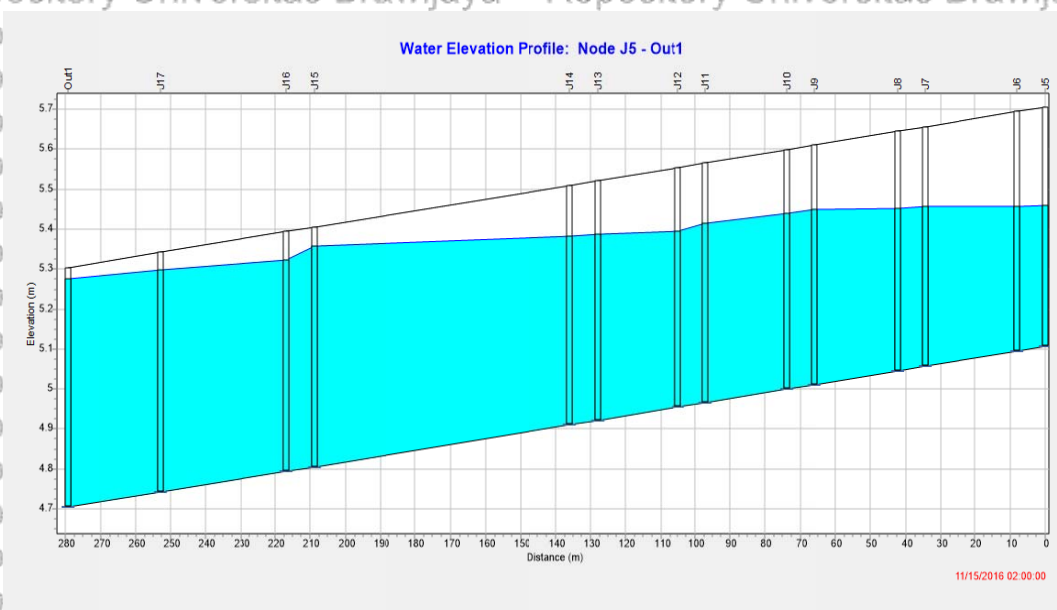
Gambar 4.13 Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan Rain Water Harvesting Pada Outlet 2



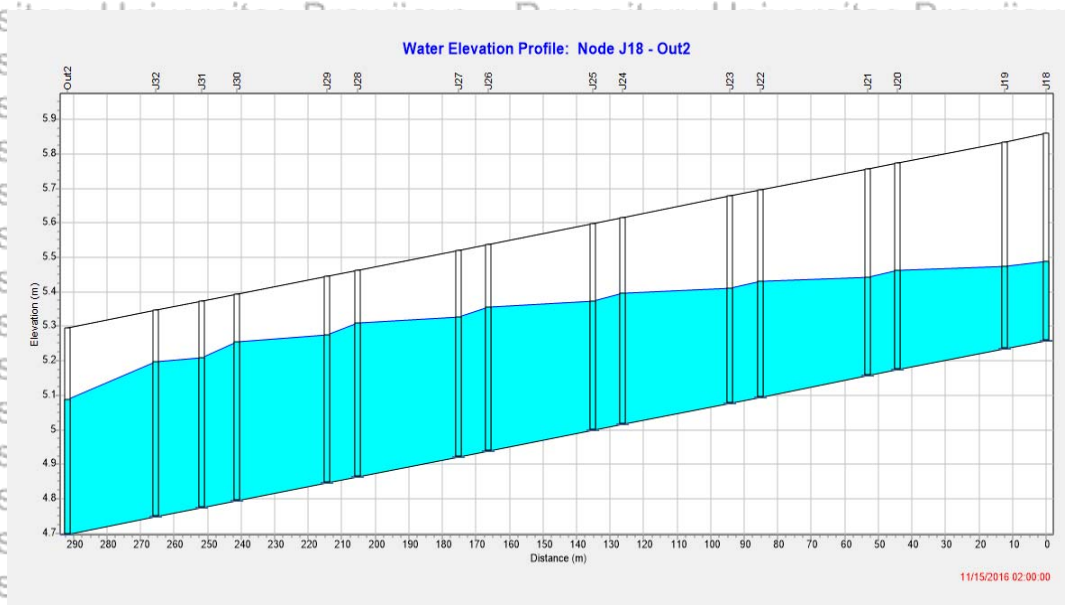
90



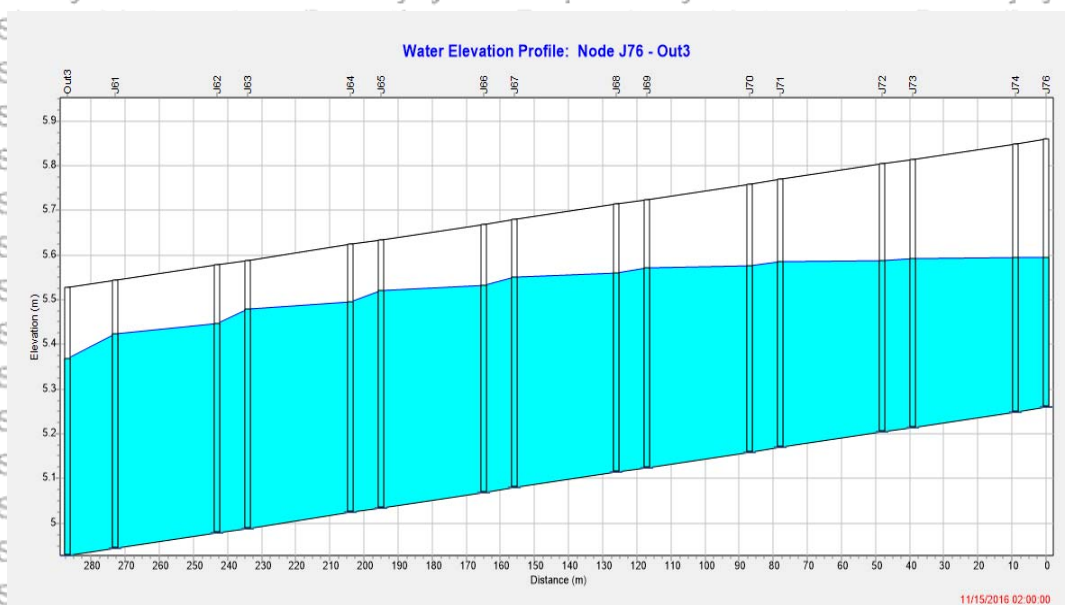
Gambar 4.14 Perbandingan Hidrograf Hasil Simulasi Kondisi Sebelum Dan Sesudah Diterapkan Rain Water Harvesting Pada Outlet 3



Gambar 4.15 Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan rain water harvesting pada Simpul J5 – Out1



Gambar 4.16 Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan *rain water harvesting* pada Simpul J18 – Out2



Gambar 4.17 Profil Muka Air Hasil Simulasi dengan penerapan *rain water harvesting* pada Simpul J76 – Out3

Adapun penjelasan daripada kondisi hasil simulasi ialah adanya *bangunan rain barrel* serta *ground water tank* mengakibatkan hujan yang jatuh pada area sub daerah tangkapan air yang bersifat kedap akan mengalir menuju bangunan-bangunan tersebut

sebelum akhirnya akan dialirkan kembali pada saluran drainase ketika bangunan tersebut telah terisi penuh.

4.10 Analisa Volume Air Pada Saluran

Dari hasil analisa debit yang dihasilkan pada tiap-tiap saluran sebelum dan sesudah penerapan metode *rain water harvesting* pada lokasi studi, diketahui ada peningkatan debit pada salah satu outlet saluran. Untuk mengetahui apakah air melimpas pada saluran atau tidak, maka digunakan analisa volume air pada saluran menggunakan data hidrograf satuan pada saluran.

Volume air total pada saluran dihitung dengan cara menghitung luas area di dalam kurva hidrograf debit saluran hasil dari simulasi. Untuk hasil perhitungan volume pada outlet saluran sekunder 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel 4.23, 4.24 dan Tabel 4.25.

Tabel 4.23 Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 1

Durasi (menit)	Debit Out 1 (m ³ /dt)		Volume (m ³)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0	0
40	0	0	0	0
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0.00023	0.00002	0.069	0.006
80	0.04828	0.01479	14.553	4.443
90	0.14163	0.06084	56.973	22.689
100	0.19616	0.11171	101.337	51.765
110	0.1957	0.16669	117.558	83.52
120	0.19405	0.20711	116.925	112.14
130	0.19345	0.20513	116.25	123.672
140	0.16422	0.14938	107.301	106.353
150	0.11383	0.1043	83.415	76.104
160	0.07862	0.0726	57.735	53.07
170	0.05481	0.05085	40.029	37.035
180	0.0385	0.03586	27.993	26.013
190	0.02723	0.02539	19.719	18.375
200	0.01927	0.01807	13.95	13.038
210	0.01406	0.01329	9.999	9.408
220	0.01056	0.01005	7.386	7.002
230	0.00812	0.00777	5.604	5.346



Lanjutan Tabel 4.23

Durasi (menit)	Debit Out 1 (m^3/dt)		Volume (m^3)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
240	0.00638	0.00612	4.35	4.167
250	0.00499	0.00477	3.411	3.267
260	0.00392	0.00377	2.673	2.562
270	0.00315	0.00303	2.121	2.04
280	0.00255	0.00246	1.71	1.647
290	0.00212	0.00206	1.401	1.356
300	0.00178	0.00173	1.17	1.137
310	0.00151	0.00147	0.987	0.96
320	0.00131	0.00128	0.846	0.825
330	0.00115	0.00113	0.738	0.723
340	0.00102	0.001	0.651	0.639
350	0.0009	0.00088	0.576	0.564
360	0.0008	0.00079	0.51	0.501
370	0.00072	0.00071	0.456	0.45
380	0.00065	0.00064	0.411	0.405
390	0.00059	0.00058	0.372	0.366
400	0.00055	0.00054	0.342	0.336
410	0.0005	0.0005	0.315	0.312
420	0.00047	0.00046	0.291	0.288
430	0.00043	0.00043	0.27	0.267
440	0.00041	0.0004	0.252	0.249
450	0.00038	0.00038	0.237	0.234
460	0.00036	0.00036	0.222	0.222
470	0.00034	0.00034	0.21	0.21
480	0.00032	0.00032	0.198	0.198
Jumlah			921.516	773.904

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.24 Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 2

Durasi (menit)	Debit Out 2 (m^3/dt)		Volume (m^3)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
10	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.006	0.0005	1.914	0.138
80	0.121	0.017	38.070	5.361

Lanjutan Tabel 4.24

Durasi (menit)	Debit Out 2 (m ³ /dt)		Volume (m ³)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
90	0.231	0.055	105.369	21.588
100	0.235	0.098	139.701	45.840
110	0.229	0.131	139.116	68.661
120	0.224	0.178	135.723	92.577
130	0.221	0.184	133.494	108.447
140	0.183	0.135	121.437	95.640
150	0.124	0.092	92.121	68.208
160	0.082	0.062	61.677	46.110
170	0.054	0.041	40.860	30.768
180	0.036	0.027	26.979	20.430
190	0.024	0.018	17.799	13.614
200	0.016	0.012	11.835	9.192
210	0.011	0.009	7.983	6.321
220	0.008	0.006	5.493	4.455
230	0.005	0.005	3.891	3.249
240	0.004	0.004	2.880	2.493
250	0.003	0.003	2.253	2.001
260	0.003	0.003	1.833	1.653
270	0.002	0.002	1.527	1.398
280	0.002	0.002	1.299	1.197
290	0.002	0.002	1.122	1.032
300	0.002	0.001	0.972	0.894
310	0.001	0.001	0.846	0.783
320	0.001	0.001	0.747	0.690
330	0.001	0.001	0.660	0.609
340	0.001	0.001	0.585	0.540
350	0.001	0.001	0.525	0.486
360	0.001	0.001	0.474	0.441
370	0.001	0.001	0.429	0.402
380	0.001	0.001	0.393	0.369
390	0.001	0.001	0.363	0.339
400	0.001	0.001	0.333	0.312
410	0.001	0.000	0.309	0.288
420	0.000	0.000	0.288	0.267
430	0.000	0.000	0.267	0.249
440	0.000	0.000	0.249	0.231
450	0.000	0.000	0.231	0.216
460	0.000	0.000	0.216	0.204



Lanjutan Tabel 4.24

Durasi (menit)	Debit Out 2 (m^3/dt)		Volume (m^3)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
470	0.000	0.000	0.204	0.192
480	0.000	0.000	0.192	0.180
Jumlah			1102.659	658.065

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.25 Perbandingan Volume Air Pada Outlet Saluran Sekunder 3

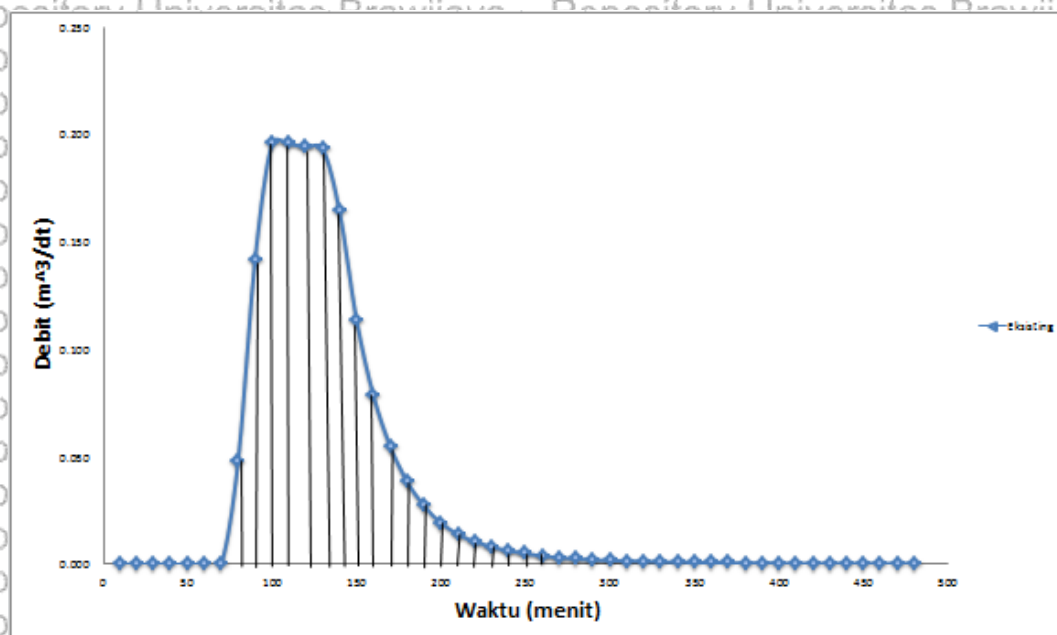
Durasi (menit)	Debit Out 1 (m^3/dt)		Volume (m^3)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
10	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.003	0.000	0.990	0.081
80	0.093	0.017	28.980	5.154
90	0.188	0.055	84.327	21.594
100	0.185	0.096	111.783	45.462
110	0.181	0.125	109.860	66.435
120	0.186	0.161	110.238	85.812
130	0.179	0.164	109.530	97.416
140	0.175	0.126	106.065	86.877
150	0.126	0.091	90.279	65.211
160	0.090	0.066	64.845	47.298
170	0.064	0.049	46.266	34.455
180	0.047	0.036	33.486	25.440
190	0.035	0.027	24.657	19.017
200	0.026	0.021	18.426	14.364
210	0.020	0.016	13.929	10.935
220	0.015	0.012	10.617	8.385
230	0.012	0.009	8.151	6.474
240	0.009	0.007	6.303	5.028
250	0.007	0.006	4.905	3.939
260	0.006	0.005	3.852	3.117
270	0.005	0.004	3.057	2.493
280	0.004	0.003	2.454	2.019
290	0.003	0.002	1.995	1.641
300	0.002	0.002	1.629	1.323



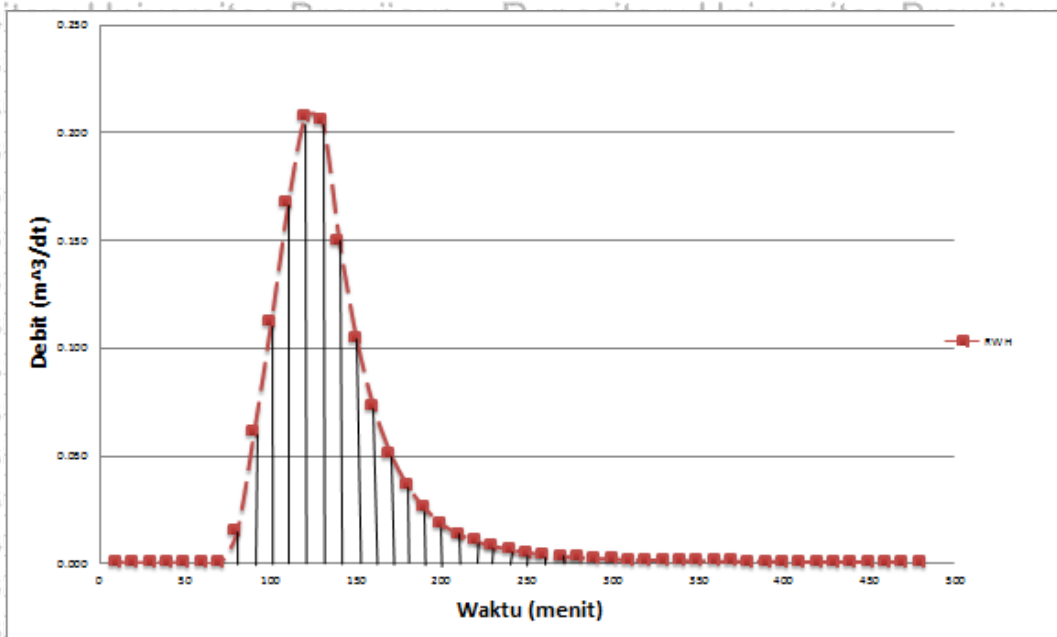
Lanjutan Tabel 4.25

Durasi (menit)	Debit Out 1 (m^3/dt)		Volume (m^3)	
	Eksisting	RWH	Eksisting	RWH
310	0.002	0.002	1.320	1.059
320	0.002	0.001	1.062	0.864
330	0.001	0.001	0.870	0.732
340	0.001	0.001	0.738	0.639
350	0.001	0.001	0.645	0.567
360	0.001	0.001	0.576	0.507
370	0.001	0.001	0.519	0.459
380	0.001	0.001	0.471	0.420
390	0.001	0.001	0.432	0.390
400	0.001	0.001	0.399	0.363
410	0.001	0.001	0.372	0.336
420	0.001	0.001	0.348	0.315
430	0.001	0.000	0.327	0.297
440	0.000	0.000	0.306	0.279
450	0.000	0.000	0.288	0.261
460	0.000	0.000	0.273	0.246
470	0.000	0.000	0.255	0.231
480	0.000	0.000	0.240	0.216
Jumlah			1006.065	668.151

Sumber: Hasil Analisa



Gambar 4.18 Contoh pembagian luas hidrograf debit pada saluran sekunder 1 kondisi eksisting.



Gambar 4.19 Contoh pembagian luas hidrograf debit pada saluran sekunder 1 kondisi penerapan *rain water harvesting*.

Dari hasil analisa diketahui bahwa terjadi penurunan volume total pada setiap saluran sekunder di lokasi studi. Pada outlet saluran sekunder 1 terjadi penurunan volume air dari 921.516 m³ menjadi 773.904 m³ atau turun sekitar 16% dari volume awal. Untuk outlet saluran sekunder 2 terjadi penurunan volume air dari 1102.659 m³ menjadi 658.065 m³ atau turun sekitar 40% dari volume awal. Sedangkan pada outlet saluran sekunder 3 terjadi penurunan volume air dari 1006.065 m³ menjadi 668.151 m³ atau turun sekitar 33% dari volume awal.

Untuk jumlah volume total pada setiap saluran sekunder dan jumlah volume struktur *rain water harvesting* dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Jumlah Volume Air Dan Volume Struktur *Rain Water Harvesting* Pada Tiap Saluran Sekunder

Saluran	Volume Air (m ³)		Volume Struktur (m ³)
	Eksisting	RWH	
Sekunder 1	921.516	773.904	227.5
Sekunder 2	1102.659	658.065	802.4
Sekunder 3	1006.065	668.151	746.35

Sumber: Hasil analisa



Dari hasil Tabel 4.26 dapat dilihat bahwa terdapat selisih daripada jumlah air yang ditampung dibandingkan jumlah volume struktur *rain water harvesting*. Hal tersebut dipengaruhi oleh Δt pada perhitungan luas hidrograf satuan debit saluran. Sebagai contoh pada saluran sekunder 1 terdapat selisih sebesar 79.8 m^3 atau sekitar 8 % dari volume air eksisting. Untuk saluran sekunder 2 terdapat selisih sebesar 357 m^3 atau sekitar 32 % dari volume air eksisting. pada saluran sekunder 1 terdapat selisih sebesar 408 m^3 atau sekitar 40 % dari volume air eksisting.

4.11 Analisa Harga Satuan

Sebelum merencanakan rencana anggaran biaya maka kita perlu untuk membuat analisa harga satuan yang sesuai dengan HSPK pada lokasi studi. Tabel analisa harga satuan dapat dilihat pada Tabel 4.27 hingga Tabel 4.36

Tabel 4.27 Harga Material Pengadaan Tandon (*Rain Barrel*)

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pengadaan Tandon				
Tandon Penguin 650 Liter	Buah	1	850,000	850,000
Jumlah				850,000

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.28 Analisa Harga Satuan Pemasangan Pipa Tandon

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pemasangan Pipa Pvc uk. 3 inch Untuk Tandon per 1 m				
A. Tenaga				
a. Tukang	OH	0.0675	121,000	8,168
b. Pembantu Tukang	OH	0.0337	110,000	3,707
B. Bahan				
a. Klem Pvc	Buah	1	3,300	3,300
b. Pipa Pvc uk. 3 inc panjang 4 meter	Batang	0.25	72,200	18,050
Jumlah				33,225

Sumber: Hasil Analisa



Tabel 4.29 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Galian

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Galian Tanah Biasa per 1 m ³				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.025	158,000	3,950
b. Pembantu Tukang	OH	0.750	110,000	82,500
Jumlah				86,450
Sumber: Hasil Analisa				

Tabel 4.30 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pengurukan Pasir

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pekerjaan Pengurukan Pasir				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.010	158,000	1,580
b. Pembantu Tukang	OH	0.300	110,000	33,000
B. Bahan				
a. Pasir Urug	m ³	1.200	150,200	180,240
Jumlah				214,820
Sumber: Hasil Analisa				

Tabel 4.31 Analisa Harga Satuan Pembuatan lapisan Beton

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pembuatan Lapisan Beton K-100 Per 1 m ³				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.060	158,000	9,480
b. Kepala Tukang Batu	OH	0.020	148,000	2,960
c. Tukang Batu	OH	0.200	121,000	24,200
d. Pembantu Tukang	OH	1.200	110,000	132,000
B. Bahan				
a. Semen PC 40 Kg	Zak	5.750	60,700	349,025
b. Pasir Cor	m ³	0.558	243,000	135,624
c. Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m ³	0.541	487,900	263,723
d. Air Kerja	Liter	215.000	28	6,020
Jumlah				923,032
Sumber: Hasil Analisa				



100

Tabel 4.32 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pemasangan Dinding Bata

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pemasangan Dinding Bata Merah 1 Pc / 5 Pp tebal 1/2 Bata per 1 m ²				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.015	158,000	2,370
b. Kepala Tukang Batu	OH	0.010	148,000	1,480
c. Tukang Batu	OH	0.100	121,000	12,100
d. Pembantu Tukang	OH	0.300	110,000	33,000
B. Bahan				
a. Semen PC 50 Kg	zak	0.194	69,100	13,378
b. Pasir Pasang	m ³	0.045	225,100	10,130
c. Batu Bata Merah Kelas 1 (ukuran 22x11x4.5 cm)	Press	70.000	1,000	70,000
Jumlah				142,457
Sumber : Hasil Analisa				

Tabel 4.33 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Plesteran halus

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Plesteran Halus 1 Pc : 5 Ps Setebal 1.5 cm per 1 m ²				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.015	158,000	2,370
b. Kepala Tukang Batu	OH	0.015	148,000	2,220
c. Tukang Batu	OH	0.150	121,000	18,150
d. Pembantu Tukang	OH	0.300	110,000	33,000
B. Bahan				
a. Semen PC 50 Kg	zak	0.104	69,100	7,166
b. Pasir Pasang	m ³	0.026	225,100	5,853
Jumlah				68,758
Sumber: Hasil Analisa				



Tabel 4.34 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Acian

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pekerjaan Acian per 1 m ²				
A. Tenaga				
a. Mandor	OH	0.010	158,000	1,580
b. Kepala Tukang Batu	OH	0.010	148,000	1,480
c. Tukang Batu	OH	0.100	121,000	12,100
d. Pembantu Tukang	OH	0.200	110,000	22,000
B. Bahan				
a. Semen PC 50 Kg	zak	0.065	69,100	4,492
Jumlah				41,652

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.35 Analisa Harga Satuan Pembuatan Plat Penutup

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pekerjaan Plat Penutup Beton K-100 per 1 m ³				
A. ITEM				
a. Pekerjaan Beton K-100	m ³	1.000	1.001,388	1.001,388
b. Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton	kg	100.000	15,291	1.529,130
c. Bekisiting lantai	m ²	1.200	383,647	460,376
Jumlah				2.990,893

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.36 Harga Material Pengadaan Pompa

Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pengadaan Pompa Sanyo PWH 137 C	Buah	1	430.000.00	430.000
Jumlah				430.000

Sumber: Hasil Analisa

4.12 Rencana Anggaran Biaya

Karena pada penelitian ini dibuat beberapa struktur yang jumlahnya cukup banyak maka diperlukan rencana anggaran biaya untuk pembangunan struktur yang akan direncanakan. Untuk rincian dari rencana anggaran biaya tiap struktur dapat dilihat pada Tabel 4.37, 4.38 dan Tabel 4.39.



102

Tabel 4.37 Rencana Anggaran Biaya Pembuatan Rain Barrel

Uraian	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Panjang (m)	Jumlah Harga (Rp)
Pengadaan Tandon Pinguin 650 liter	Buah	850,000		850,000
Pemasangan Pipa Pvc uk. 3 inch Untuk Tandon per 1 m	m	33,225	4	132898
Jumlah				982,898

Sumber: Hasil Analisa

Pada lokasi direncanakan sebanyak 1125 buah *rain barrel* maka total anggaran yang direncanakan untuk membuat struktur *rain barrel* pada lokasi studi ialah sebesar Rp. 1,105,760,250.

Tabel 4.38 Rincian Rencana Anggaran Biaya Pembangunan Ground Water Tank luas 9 m²

Uraian	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Volume m ³	Luas m ²	Jumlah Harga (Rp)
Galian Tanah Biasa per 1 m ³	m ³	86,450	15.84		86,450
Pekerjaan Pengurugan Pasir	m ³	214,820	0.35		75,380
Pembuatan Lapisan Beton K-100 Per 1 m ³	m ³	923,032	0.18		161,830
Pemasangan Dinding Bata Merah 1 Pc : 5 Pp tebal 1/2 Bata per 1 m ²	m ²	142,457		12	1,709,487
Plesteran Halus 1 Pc : 5 Ps Setebal 1.5 cm per 1 m ²	m ²	68,758		21	1,443,924
Pekerjaan Acian per 1 m ²	m ²	41,652		21	874,682
Pekerjaan Plat Penutup Beton K-100 per 1 m ³	m ³	2,990,893	0.45		1,345,902
Jumlah					5,697,655

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.39 Rincian Rencana Anggaran Biaya Pembangunan *Ground Water Tank* luas 16 m²

Uraian	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Volume m ³	Luas m ²	Jumlah Harga (Rp)
Galian Tanah Biasa per 1 m ³	m ³	86,450	20,24		86,450
Pekerjaan Pengurugan Pasir	m ³	214,820	0,4509		96,862
Pembuatan Lapisan Beton K-100 Per 1 m ³	m ³	923,032	0,226125		183,312
Pemasangan Dinding Bata Merah 1 Pc : 5 Pp tebal 1/2 Bata per 1 m ²	m ²	142,457		16	2,279,316
Plesteran Halus 1 Pc : 5 Ps Setebal 1,5 cm per 1 m ²	m ²	68,758		32	2,200,265
Pekerjaan Acian per 1 m ²	m ²	41,652		32	1,332,848
Pekerjaan Plat Penutup Beton K-100 per 1 m ³	m ³	2,990,893	0,8		2,392,715
Jumlah					8,571,768

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada lokasi direncanakan sebanyak 13 buah *ground water tank* luas 9 m² dan 56 buah *ground water tank* dengan luas 16 m². Maka total anggaran yang direncanakan untuk membuat struktur *rain barrel* pada lokasi studi ialah sebesar Rp. 554,088,532. Pada perencanaan bangunan *ground water tank* juga direncanakan pompa pada masing-masing daerah yang berjumlah 42 buah.

Setelah mengetahui rencana anggaran biaya masing-masing struktur maka dapat disimpulkan berapa total biaya yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penerapan *rain water harvesting* di lokasi studi. Untuk rinciannya dapat dilihat pada Tabel 4.40.

Tabel 4.40 Rencana Anggaran Biaya Penerapan *Rain Water Harvesting*

Uraian	Satuan	Harga Satuan	Jumlah	Jumlah Harga
Pembuatan <i>Rain barrel</i>	Unit	982,898	1125	1,105,760,250
Pembuatan <i>Ground Water Tank</i> luas 9 m ²	Unit	8,571,768	13	111,432,986
Pembuatan <i>Ground Water Tank</i> luas 16 m ²	Unit	5,697,655	58	330,463,989
Pengadaan Pompa Untuk <i>Ground Water Tank</i>	Buah	430,000	42	18,060,000
Jumlah				1,565,717,225

Sumber: Hasil Analisa

Dengan ini diketahui bahwa total biaya yang butuh untuk penerapan struktur *rain water harvesting* pada lokasi studi ialah sebesar Rp. 1,565,717,225.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengerjaan studi penerapan metode *rain water harvesting* pada sistem drainase di Perumahan Sukolilo Dian Regency Kota Surabaya, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Kapasitas saluran drainase eksisting pada sistem drainase Perumahan Sukolilo Dian Regency tidak mampu menampung air hujan kala ulang 5 tahun, terbukti dari hasil simulasi ditemukan sebanyak 26 titik genangan.
2. Sesuai dengan kondisi lokasi studi, yaitu kedalaman muka air tanah, ketersediaan lahan maka jumlah, dimensi, serta jenis struktur *rain water harvesting* yang digunakan ialah sebagai berikut:

A. *Rain barrel* (Tong Hujan)

- Jenis : struktur *rain barrel* yang digunakan ialah tandon air merek lokal yaitu penguin.
- Kapasitas : 650 liter
- Penempatan : setiap rumah akan ditempatkan di halaman atau di depan rumah 1 – 2 unit *rain barrel*.

B. *Ground Water Tank* (Tampung Air)

- Jenis : kolam galian dengan dinding pasangan bata merah.
- Kapasitas : 9 – 16 m³ per unit
- Penempatan : Ruang terbuka hijau

3. Dari hasil analisa diketahui bahwa terjadi penurunan volume total pada setiap saluran sekunder di lokasi studi. Pada outlet saluran sekunder 1 terjadi penurunan volume air dari 921.516 m³ menjadi 773.904 m³ atau turun sekitar 16% dari volume awal. Untuk outlet saluran sekunder 2 terjadi penurunan volume air dari 1102.659 m³ menjadi 658.065 m³ atau turun sekitar 40% dari volume awal. Sedangkan pada outlet saluran sekunder 3 terjadi penurunan volume air dari 1006.065 m³ menjadi 668.151 m³ atau turun sekitar 33% dari volume awal.



5.2. Saran

Dalam studi ini terdapat beberapa saran untuk penelitian kedepannya, antara lain:

1. Perencanaan struktur penanggulangan banjir berwawasan lingkungan lainnya seperti konsep perkerasan permeable (*permeable pavement*), bioretensi (*bioretention*), dan saluran berumput (*vegetative swale*) yang mungkin bisa mereduksi banjir secara optimal.
2. Penelitian kualitas air hujan serta potensi pemanfaatannya dengan permasalahan yang ada dengan diterapkannya metode *rain water harvesting*.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan bagi para peneliti yang menggunakan aplikasi program EPA SWMM meninjau kembali debit pada setiap saluran hasil *running* program. Hal itu dikarenakan adanya perbedaan antara pengerjaan manual dengan menggunakan program.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, N. 2010. *Panduan Dan Petunjuk Praktis Pengelolaan Drainase Perkotaan*.
[http://www.scribd.com/doc/36329176/Panduan-Dan-Petunjuk-Praktis](http://www.scribd.com/doc/36329176/Panduan-Dan-Petunjuk-Praktis-Pengelolaan-Drainase-Perkotaan)
Pengelolaan-Drainase-Perkotaan. (diakses 8 Mei 2016).
- Ardiyana, M. 2016. STUDI PENERAPAN ECODRAIN PADA SISTEM DRAINASE PERKOTAAN (Studi Kasus : Perumahan Sawojajar Kota Malang). *Jurnal Teknik Pengairan*, Volume 7, Nomor 2, Desember 2016, hlm 295 – 309.
- Badan Standardisasi Nasional. 1994. *SNI 03-3424-1994 Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 1991. *SNI 03-2406-1991 Tata Cara Perencanaan Umum Drainase Perkotaan*. Jakarta: BSN.
- Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya. 2009. *Drainage Master Plan For Surabaya*. Surabaya: BAPPEKO.
- Fatkhurohman Taufik. 2013. *Drainase Perumahan di Surabaya Sangat Buruk*.
www.suarasurabaya.net. (diakses 3 Mei 2016).
- Hasmar, H. A. H. 2012. *Drainasi Terapan*. Yogyakarta: UII Press.
- Suhardjono. 1984. *Drainasi*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Limantara, L. M. 2010. *Hidrologi Teknik Dasar*. Malang: CV. Citra Malang
- Soemarto, CD. 1995. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: Nova
- Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Bandung: PT. Aditya Bakti..
- Sosrodarsono, S. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.
- Sri Harto Br. 1981. *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil.
- Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Loebis Joesron, 1984. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- Subarkah, I. 1980. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.
- Republik Indonesia, 2007, Undang-undang nomor 24 Penanggulangan Bencana, Jakarta: Sekretariat Negara



Suripin. 2003. *Sistem Drainase Perkotaan Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Maryono, Agus. 2007. *Restorasi Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

United States Environmental Quality. 2010. *Strom Water Management Model 5.0 Users's Manual*. <https://epa-gov/water-research>. Diakses 4 Mei 2016