# ANALISIS KONSERVASI AIR BERBASIS ZERO RUN OFF (STUDI KASUS KAWASAN BLOCK OFFICE BALAI KOTA AMONG TANI KOTA BATU)

## **TESIS**

# PROGRAM MAGISTER TEKNIK PENGAIRAN MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik



DINI ROSVITA TRI AGUSNARYANTI NIM. 176060400111033

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019

## BAB I PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Peningkatan sektor perekonomian dan jumlah penduduk yang pesat menuntut adanya pembangunan sarana fisik, perumahan, penyediaan air baku, sanitasi, sarana kesehatan, dan beberapa fasilitas lainnya. Laju pembangunan yang semakin meningkat seperti permukiman, gedung perkantoran, perhotelan, pertokoan, pusat bisnis, rumah sakit, sekolah, jalan, dan sarana lainnya semakin mengurangi lahan terbuka. Alih fungsi lahan tersebut dapat menyebabkan terjadinya genangan di musim hujan, menurunnya debit air di musim kemarau, bahkan dapat menyebabkan perubahan sifat biofisik suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), Sucipto (2008).

Kota Batu yang berkembang menjadi kota wisata dan agropolitan telah memunculkan beberapa permasalahan terhadap Kota Batu sendiri. Data dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Batu, dulu terdapat 111 mata air tinggal 81 sumber saja. Sementara itu, 30 sumber lainnya mempunyai debit yang sangat kecil. Arief (2017) menyatakan bahwa penurunan jumlah mata air di Kota Batu diperkirakan karena adanya alih fungsi lahan hutan menjadi pertanian. Selain itu, disebabkan pula oleh banyaknya pembangunan, baik permukiman maupun tempat wisata (Jawa Pos, 11 Desember 2017). Dari hasil penelitian oleh Permanasari, P., Bisri, M., & Suharyanto, A. (2012) menunjukkan penggunaan lahan di Kota Batu pada tahun 2010 mempunyai pengaruh pada penurunan daya resap air hujan ke dalam tanah, yakni menurun 34.915.235 m³/tahun atau 13% dari penggunaan lahan di tahun 2003.

Seiring dengan hal-hal tersebut di atas, telah diterbitkan aturan terbaru yang mengimplementasikan sistem drainase berwawasan lingkungan berbasis konservasi, yang dituangkan dalam 2 (dua) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum yaitu nomor 12/PRT/M/2014 tentang penyelenggaraan sistem drainase perkotaan dimana perencanaan drainase perkotaan harus berbasis ramah lingkungan yang mempertegas peraturan nomor 11/PRT/M/2014 tentang pemanfaatan/pengelolaan air hujan untuk gedung dan pekarangannya. Selain itu, di Kota Batu sendiri telah diterbitkan Peraturan Walikota Nomor 21 Tahun 2015 tentang Pembuatan Sumur Resapan dan Biopori. Ketiga produk hukum tersebut merupakan respon

terhadap terbitnya Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 12 Tahun 2009 tentang pemanfaatan air hujan.

Menurut peraturan tersebut di atas, sangat perlu dipertahankan kesetimbangan antara proses pengambilan dan pengisian air hujan (presipitasi dan infiltrasi) dengan meresapkan ke dalam poripori/rongga tanah atau batuan, serta dilakukan upaya konservasi air. Prinsip dasar konservasi air adalah mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tubuh bumi.

Di samping itu, terbit juga Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah yang menyebutkan Konsep *zero delta Q policy* (ZDQP). Konsep ini merupakan sebuah konsep yang menyebutkan keharusan agar tiap bangunan tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem aliran sungai. Artinya setiap bangunan gedung atau kawasan harus mengelola air limpasan (*runoff*) di dalam persil atau kawasannya sendiri. Hal ini dimaksudkan agar debit limpasan yang mengalir ke luar persil atau ke luar kawasan selalu menyamai atau lebih baik dari kondisi naturalnya.

Berdasarkan hasil penelitian Bisri & Titah (2009) didapatkan bahwa penerapan sumur resapan merupakan salah satu solusi tercepat untuk konservasi air tanah dan yang paling memungkinkan untuk dilaksanakan di kota Batu, mengingat kondisi muka air tanah yang terus menurun dari tahun ke tahun. Hasil penelitian ini sejalan dengan Peraturan Walikota Batu Nomor 21 Tahun 2015 yang menyebutkan bahwa sumur resapan wajib dibuat oleh setiap penanggung jawab dalam pembangunan kawasan lindung kota, kawasan budidaya, dan kawasan strategis di Kota Batu.

#### 1.2. Identifikasi Masalah

Perkembangan Kota Batu sebagai Kota Wisata dan Agropolitan telah mengakibatkan pesatnya pertumbuhan permukiman dan perumahan. Perkembangan tersebut tentu saja mengakibatkan alih fungsi lahan terutama daerah resapan menjadi kedap air. Salah satu contohnya adalah pembangunan *Block Office* Balai Kota Among Tani oleh pemerintah dan Perumahan Batu Panorama oleh swasta. Pendirian perumahan biasanya dilengkapi dengan sarana dan prasarana untuk memenuhi kebutuhan penghuninya, di antaranya pemenuhan kebutuhan air bersih, pengelolaan air limbah, drainase, dan sebagainya. Pada lokasi studi, pemenuhan kebutuhan air bersih menggunakan pemanfaatan air bawah tanah yang berupa sumur bor. Hal ini tentu saja akan berdampak pada cadangan air bawah tanah.

Permasalahan lainnya adalah permasalahan yang disebabkan oleh terbatasnya lahan terbuka untuk prasarana drainase dan konservasi air. Mengingat lokasi studi sebelum ada pembangunan perumahan ini adalah sawah, tentu saja dengan pembangunan kawasan perkantoran dan perumahan ini merubah rezim hidrologi dan hidrolika.

Sebagaimana telah disebutkan di atas, dalam rangka upaya konservasi air tanah di Kota Batu telah diterbitkan Peraturan Walikota Nomor 21 Tahun 2015 tentang Pembuatan Sumur Resapan dan Biopori. Perwali tersebut dibuat untuk menetapkan jumlah sumur resapan yang harus dibangun untuk kawasan terbangun dengan luasan tertentu. Namun ketika dikaji lebih dalam, belum ada spesifikasi dimensi sumur resapan yang harus digunakan untuk karakteristik wilayah Kota Batu yang berbeda-beda.

#### 1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi permasalahan, maka beberapa rumusan masalah yang ingin dibahas di dalam kajian ini adalah:

- Bagaimanakah analisis limpasan secara keruangan berdasarkan hujan kala ulang 5 tahunan pada kondisi eksisting saat ini dan kondisi akan datang sesuai rencana pengembangan pada lokasi studi?
- 2) Bagaimana analisis konservasi air berbasis *zero run off* yang dapat diterapkan di lokasi studi berdasarkan debit limpasan keruangan menggunakan hujan kala ulang 5 tahunan?

#### 1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, diterapkan batasan-batasan permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

- 1) Studi dilakukan di kawasan *block office* Balai Kota Among Tani meliputi perkantoran pemerintah Kota Batu dan Perumahan Batu Panorama.
- 2) Tidak melakukan perhitungan dan evaluasi saluran drainase eksternal, dikarenakan studi hanya difokuskan kepada pemaksimalan konsep *zero runoff*, di mana air limpasan yang berasal dari hujan dimaksimalkan meresap ke dalam tanah melalui bangunan konservasi.
- 3) Analisis teknologi konservasi hanya dibahas sampai perencanaan teknis dan tidak melakukan analisis sosial masyarakat sekitar lokasi studi.

## 1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitan ini adalah:

- Melakukan analisis secara keruangan berdasarkan hujan kala ulang 5 tahunan pada kondisi eksisting saat ini dan kondisi akan datang sesuai rencana pengembangan pada lokasi studi.
- 2) Mengetahui konservasi air berbasis *zero run off* yang dapat diterapkan di lokasi studi berdasarkan debit limpasan keruangan menggunakan hujan kala ulang 5 tahunan.

#### 1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah untuk memperkaya teori tentang model konservasi air tanah berbasis *zero run off* yang memberikan informasi tentang kebutuhan dimensi yang tepat untuk dilaksanakan di Kota Batu sebagai bahan masukan bagi Pemerintah Kota Batu dalam penerbitan regulasi terkait konservasi air tanah. Selanjutnya dapat dipakai sebagai pedoman teknis pelaksana kegiatan atau masyarakat dan *stakeholder* dalam upaya untuk membangun suatu kegiatan di wilayah Kota Batu dengan berbasis konservasi air tanah.

#### 1.7. Penelitian Terdahulu

Sebagaimana telah disebutkan di atas, bahwa penelitian ini akan menganalisis konservasi air tanah yang cocok untuk diterapkan di Kota Batu dengan berbasis *zero run off*. Sebelumnya, telah banyak penelitian tentang konservasi air tanah maupun penggunaan konsep *zero run off*. Sebagai referensi dan penunjang dalam penelitian ini, digunakan beberapa jurnal dan penelitian terdahulu, sebagai berikut:

- 1) Mohammad Bisri, Titah Andalan Norman Prastya. 2009. Jurnal Rekayasa Sipil. Imbuhan Airtanah Buatan Untuk Mereduksi Genangan (Studi Kasus Di Kecamatan Batu Kota Batu).
  - Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa penerapan sumur resapan merupakan salah satu solusi tercepat untuk konservasi air tanah dan yang paling memungkinkan untuk dilaksanakan di kota Batu, mengingat kondisi muka air tanah yang terus menurun dari tahun ke tahun.
- 2) Puspa Permanasari, M. Bisri, Agus Suharyanto. 2012. *Pengaruh Guna Lahan Terhadap Penurunan Infiltrasi di Kota Batu*.

Hasil penelitian menunjukkan penggunaan lahan pada kondisi eksisting 2010 mempunyai pengaruh pada penurunan daya resap air hujan ke dalam tanah, yakni menurun 34.915.235 m³/ tahun atau 13% dari penggunaan lahan di tahun 2003. Oleh karena itu diperlukan penambahan sumur resapan secara tepat dan lubang biopori pada setiap kawasan untuk menambah daya resap air hujan ke dalam tanah.

- 3) Sarbidi. 2015. Metoda Penerapan Zero Run Off Pada Bangunan Gedung Dan Persilnya untuk Peningkatan Panen Air Hujan Dan Penurunan Puncak Banjir.
  - Metode penerapan tata air hujan di bangunan dan persilnya *zero run off* (*ZRO*) dirumuskan sebagai fungsi dari intensitas hujan (I), jenis dan volume sarana tampungan (T), Resapan (R), Manfaat (M) dan Aliran (A) air hujan kelebihan keluar kawasan atau disingkat dengan formula : ZRO = fungsi (I,T,R,M,A).

Sarana TRMA terdiri atas subreservoir air hujan, sumur resapan, instalasi pengolahan air minum air hujan (IPAM AH), kolam retensi/ kolam detensi, sarana pengaliran saluran terbuka atau tertutup, pompa dan peralatan mekanikal elektrikal lainnya dan beroperasi dalam satu kesatuan terintegrasi.

Penerapan *zero runoff* pada bangunan dan persilnya selalu berkaitan dengan curah hujan dan karakteristik kawasan dengan mengikuti kaidah – kaidah analisis hidrologi, hidrolika, hidrogeologi, dan tata guna lahan eksisting setempat.

4) Jacinta A. Opara. 2016. Environmental Health Challenges and Sustainable Development in Nigeria: Implications for Policy And Management. Metode pengelolaan lingkungan di wilayah negara Nigeria terkait dengan analisis secara keilmuan di bidang kesehatan, lingkungan hidup, dan manajemen sosial dikaitkan

dengan peraturan pemerintah yang berlaku beserta kemungkinan pengaruh

- pemberlakuan kebijakan baru sesuai dengan hasil analisis.
- 5) Akhmad Azis, Hamzah Yusuf, Zulviyah Faisal. 2016. *Konservasi Airtanah Melalui Pembuatan Sumur Resapan Air Hujan Di Kelurahan Maradekaya Kota Makassar*Dari hasil penelitan dapat dibuktikan bahwa sumur resapan mampu mengurangi limpasan permukaan dan memperbaiki kualitas air tanah. Setelah sumur resapan dialiri air hujan terjadi perubahan signifikan yakni pada parameter pencemaran air.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1. Konservasi Air Berbasis Zero Run Off

Konservasi air merupakan usaha untuk memelihara keberadaan, sifat dan fungsi, serta keberlanjutan sumber daya air supaya senantiasa tersedia dalam kualitas dan kuantitas yang memadai guna memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.

Adapun tujuan konservasi air adalah:

#### 1. Pencegahan terhadap bencana banjir dan kekeringan

Banjir yang sering terjadi di Indonesia sebagian besar disebabkan karena sungai dan saluran-saluran drainase tidak mampu menampung air hujan yang sangat deras pada musim penghujan. Tingginya curah hujan tidak diimbangi dengan penyerapan air sehingga menyebabkan banjir air. Penyerapan air menjadi tidak optimal dikarenakan hutan telah beralih fungsi menjadi lahan pertanian.

Pembangunan banyak gedung di daerah resapan air juga ikut memperparah penyerapan air sehingga di musim kemarau tidak ada air yang tertampung di dalam tanah. Perlu dilakukan pemetaan daerah rawan banjir dan kekeringan sebagai upaya penanggulangan banjir dan kekeringan. Setelah dilakukan pemetaan, maka harus diikuti dengan perencanaan penanggulangan bencana serta menyiapkan sarana dan prasarana untuk mengatasi bencana banjir dan kekeringan.

#### 2. Pencegahan terhadap kerusakan bantaran sungai

Erosi oleh air dan perilaku buruk masyarakat dalam membuang sampah dapat menyebabkan kerusakan pada bantaran sungai. Kerusakan bantaran sungai tersebut akan mempengaruhi ketersediaan sumber daya air. Oleh sebab itu, perlu dilakukan konservasi untuk menjaga kelestarian air sungai.

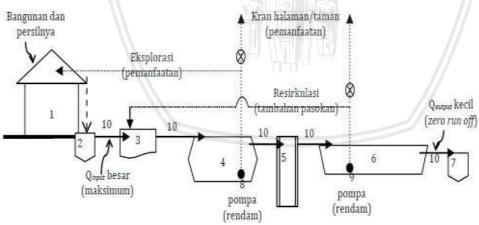
## 3. Pencegahan erosi dan sedimentasi

Erosi merupakan proses pengikisan permukaan bumi yang disebabkan oleh beberapa tenaga alam, salah satunya adalah pengikisan oleh air. Sedangkan sedimentasi adalah proses pengendapan tanah. Erosi tanah dan sedimentasi ini banyak dipengaruhi oleh air

sehingga pencegahannya berhubungan dengan konservasi atau pengelolaan sumber daya air.

Menurut Peraturan Walikota Batu No 21 Tahun 2015, prinsip dasar konservasi air adalah mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam tubuh bumi. Atas dasar prinsip ini maka curah hujan yang berlebihan pada musim hujan tidak dibiarkan mengalir ke sungai tetapi ditampung dalam sebuah wadah yang memungkinkan air kembali meresap ke dalam tanah (groundwater recharge).

Bangunan dan persilnya mempunyai potensi sebagai wahana sumber air baku dari air hujan. Oleh karena itu, sangat layak dirumuskan suatu metoda penerapan konsep zero run off di lingkungan bangunan, terutama yang mempunyai atap dan persil yang luas. Pusat Litbang Permukiman telah melakukan penerapan drainase kawasan, yang menghasilkan air limpasan atau koefisien pengaliran (C) mengalir ke luar kawasan hingga nol persen atau zero run off [Pusat Litbang Permukiman tahun 2012, 2013]. Sistem tata air hujan zero run off yang diterapkan oleh tim Pusat Litbang Permukiman adalah fungsi dari "intensitas hujan, tampungan, resapan, manfaat dan aliran sisa run off keluar kawasan, seperti ditampilkan pada diagram Gambar 2.1.



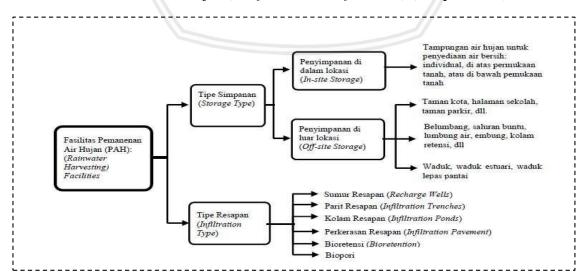
#### Keterangan:

- Atap bangunan dan persilnya
- 2. Saluran drainase gedung dan persilnya
- 3. Saringan kasar horizontal (SKH)
- 4. Subreservoir FRP/beton (tampungan pertama)
- 5. Sumur resapan air hujan (recharge air tanah).
- 6. Kolam retensi/kolam detensi (tampungan kedua)
- 7. Saluran drainase jalan raya (pengaliran kelebihan)
- 8. Pompa eksplorasi untuk pemanfaatan (IPAM AH)
- 9. Pipa resirkulasi untuk tambahan pasokan air)
- 10. Saluran penghubung antar unit (tertutup/terbuka)

Gambar 2. 1. Diagram Penerapan *Zero run off p*ada Bangunan Gedung Dan Persilnya Sumber: Pusat Litbang Permukiman, 2012

- 1. Air hujan dari atap dialirkan ke dalam saluran drainase bangunan, disadap dan dilewatkan pada saringan berlubang (*screen*) dan saringan kasar horizontal media batu kapur dan ditampung di dalam *subreservoir* [Sarbidi,2012].
- 2. Air yang ditampung *subreservoir* dimanfaatkan sebagai air bersih/air minum, air baku dan kebutuhan untuk bangunan, halaman mau pun kawasan.
- 3. Air over flow dari subreservoir dialirkan ke dalam sumur resapan air hujan.
- 4. Air *over flow* dari unit resapan dialirkan ke dalam kolam retensi, kolam detensi, telaga dan/atau waduk dan lain-lain, sesuai ketentuan yang berlaku. Selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk sumber air baku, air minum.
- 5. Air *over flow* dari kolam retensi dan lain-lain dapat dimasukkan kembali ke unit resapan yang lain. Kelebihan air hujan dialirkan ke luar kawasan hingga dicapai nol persen (*zero run off*) atau sesuai ketentuan yang berlaku.
- 6. Air hujan dari halaman, taman, dan jalan kawasan dialirkan ke dalam saringan berlubang (*screen*) dan saringan kasar horizontal, unit resapan, kolam retensi dan sebagainya.

Konsep dasar pada konservasi air meliputi usaha-usaha dalam meningkatkan daya guna air, meminimalkan kerugian dengan usaha-usaha komprehensif dan integratif yang meliputi semua proses baik yang bersifat struktural maupun non struktural. Dimana salah satu diantaranya adalah pengelolaan limpasan permukaan dengan cara pengembangan fasilitas untuk menahan air hujan (*rainfall retention facilities*) (Suripin, 2004).



Gambar 2.2 Jenis-jenis Fasilitas Pemanenan Air Hujan (Suripin, 2004)

Tipe	Fungsi	Fasilitas
Penyimpanan		
(storage), terbagi		
menjadi 2 jenis,		
yaitu:		
Penyimpanan di luar lokasi (offsite storage)      Penyimpanan di dalam lokasi (on-site storage)	intensitas hujan berkurang, maupun yang bersifat jangka panjang untuk keperluan di musim kering.  2. Mengontrol parameter debit puncak dan waktu penuntasan (time concentration).  3. Mengumpulkan dan menyimpan limpasan air hujan di ujung saluran atau tempat lain dengan membangun bangunan-bangunan penerima air.  1. Menyimpan air hujan yang jatuh di kawasan itu sendiri (hujan lokal) yang tidak dapat dibuang langsung ke saluran, baik karena kapasitas saluran tidak mencukupi maupun karena adanya pengaruh arus balik.  2. Untuk daerah-daerah yang memiliki masalah kelangkaan air (water scarity), penyimpanan air	Fasilitas rainwater harvesting, halaman sekolal lahan terbuka (open space) lahan parkir, lahan antar blol rumah, taman multi fungsi dll. Untuk kawasan yang sanga padat, dapat menggunakai kolam tandon yang ditempatkan di bawal bangunan
Peresapan (infiltration)	Dikembangkan di daerah-daerah yang mempunyai tingkat permeabilitas	Parit resapan, sumur resapan kolam resapan, dan perkerasa
	tinggi dan secara teknis pengisian air	1
	tanah ini tidak mengganggu stabilitas	
	geologi.	
	1	

Sumber: Suripin, 2004

#### 2.2. Teknologi Konservasi Air

### 2.2.1. Pemanenan Air Hujan

Pemanenan air hujan adalah seuatu tindakan atau upaya untuk mengumpulkan air hujan yang jatuh pada bidang tadah pada permukaan bumi, baik berupa atap bangunan, halaman, jalan, dan untuk skala besar berupa daerah tangkapan air. Teknik ini sudah diterapkan sejak zaman dahulu d iseluruh dunia, terutama di daerah-daerah yang memiliki musim kering yang sangat lama, seperti di Afrika, Amerika Selatan dan beberapa negara yang terletak di benua Asia.

11

Asdak (2002) mengatakan agar PAH diprioritaskan untuk diterapkan di daerah-daerah yang intensitas hujannya cukup tinggi dengan diselingi periode waktu tanpa hujan (periode kering) yang cukup lama, atau hujan turun dengan jumlah yang tidak memadai, sesuai dengan kondisi dan kebutuhan air pada daerah tersebut. Menurut Asdak (2002), Pemanenan air hujan dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu; 1). dengan menangkap air hujan yang berasal dari permukaan atas atap, dan 2). menangkap air hujan dari permukaan tanah (ground cathment) (Asdak. 2002: 213).

#### 2.2.1.1.Klasifikasi PAH

Berdasarkan cakupan daerah tangkapannya maka teknik PAH dapat dikategorikan menjadi tiga klasifikasi, yaitu: 1). PAH tangkapan makro (macrocatchment rainwater harvesting), 2). PAH tangkapan mikro (microcatchment rainwater harvesting) dan 3). PAH atap dan halaman (rooftop & courtyard rainwater harvesting).

## 2.2.1.2.PAH Untuk Keperluan Domestik

Untuk kawasan permukiman (*residence area*), umumnya sistem PAH mengumpulkan limpasan air hujan yang bersumber dari atap, halaman, jalan-jalan, serta ruang terbuka yang ada di perumahan tersebut. PAH domestik bisa diperuntukkan sebagai sumber air minum (*potable-water*) maupun sebagai sumber air bersih (*non-potable water*). ntuk tujuan konservasi air bersih (*non-potable water*) untuk penduduk yang bermukim di suatu perumahan, sistem PAH yang direkomendasikan umumnya berupa PAH dari atap (*rooftop rainwater harvesting*), dengan pertimbangan kualitas air yang dihasilkan jauh lebih baik dibanding sumber-sumber tangkapan lainnya.

Tabel 2. 2. Klasifikasi Pemanenan Air Hujan berdasarkan cakupan tangkapannya

Parameter	Klasifikasi Pemanenan Air Hujan berdasarkan tangkapannya								
	PAH Makro	PAH Mikro	PAH Atap & Halaman						
Stategi penerapan Lokasi penerapan (zona agroklimatik)	Menangkap limpasan dari luar pertanian atau lahan.banjir. Iklim sub-lembab kering (dry sub-humid), semi- gersang (semi arid), dan gersang (arid);	Menangkap limpasan limpasan lokal di dalam lahan. Iklim sub-lembab kering (dry sub-humid), semi- gersang (semi arid);	Menangkap limpasan dari permukiman penduduk. Semua iklim;						
	Dengan beberapa kejadian limpasan yang diperkirakan terjadi saat musim penghujan.	Dengan air hujan yang lebih dapat diandalkan tetapi tersebar dan/atau tidak terdistribusi dengan baik selama musim tersebut.	Dengan deret hari kering dan hujan yang bersifat musiman.						
Catchment	Ekternal;  Daerah tangkapan atau daerah aliran sungai kecil; Daerah tangkapan dan penerapan (fasilitas PAH) terpisah dengan jelas. Satu sistem dengan satu daerah tangkapan	Dalam lahan;  Daerah tangkapan dan penerapan (fasilitas PAH) terdistribusi dengan baik pada lahan. Sistem direplikasi berulang kali dengan pola yang serupa.	Rumah tangga/permukiman penduduk; Satu sistem dengan satu daerah tangkapan.						
Media penyimpanan	Kelembapan tanah dalam zona perakaran tanaman; waduk; bendungan dan embung; kolam; tangki (pemukaan dan bawah tanah).	Kelembapan tanah dalam zona perakaran tanaman; lubang; parit (rorak) dan guludan untuk penanaman.	Tangki, tandon atau kolam pengumpul (permukaan dan bawah tanah).						
Skala pengelolaan Contoh aplikasi (teknologi)	Masyarakat , individu  Penyimpanan air dalam tanah (limpasan lereng/kanal, reklamasi kaki bukit, gukudan besar, pengendali jurang, drainase pemotong).  Fasilitas penyimpanan air permukaan (cekungan alami, kolam atau danau kering, kolam galian, waduk/tangki budidaya, kolam resapan air tanah, bendungan permukaan).  Fasilitas penyimpanan bawah tanah (lapisan akifer, perkolasi, bendungan pasir, waduk bawah tanah, cistern).  Sumur tradisional (sumur horisontal, sumur injeksi).	Masyarakat, individu  Danau kering dan cekungan (lubang tanam kecil, cekungan mikro/guludan kecil).  Cross-slope barrier atau penghalang lereng melintang (strip vegetasi, guludan dan rabung kontur, rabung terikat (tied ridges), baris dan guludan batuan dan teras batu kontur).	Masyarakat, individu.  Tangki/tandon  Kolam pengumpul  Cistern  Waduk						

Sumber: Suripin, 2004

BRAWIJAY

Namun demikian sejumlah pakar, tidak merekomendasikan PAH yang berasal dari atap yang terbuat dari bahan organik, seperti jerami dan daun-daunan karena dikhawatirkan dapat mengakibatkan air hujan yang dipanen terkontaminasi oleh zat-zat beracun maupun mikroorganisme pencemar yang bersifat patogen. Air yang dihasilkan dari sistem PAH dari atap ini, dapat dirangkaikan atau dikombinasikan dengan sistem pengolahan sederhana (*simple treatment*), seperti sistem saringan pasir lambat dan sistem saringan sederhana yang menggunakan media karbon aktif, keramik/gerabah, batu bata, ijuk, kerikil dan pasir.

Untuk keperluan lain seperti penggelontoran toilet, cuci kendaraan, menyiram taman, pengisian kolam ikan, dan kebutuhan lain selain untuk keperluan dapur dan mandi, maka PAH yang berasal dari halaman, taman dan jalan-jalan kompleks, masih layak digunakan sepanjang tidak tercampur dengan limbah cair buangan rumah tangga (*grey water*).

Adapun jika pemanfaatan air hujan ingin dijadikan sebagai sumber air minum maka diperlukan pengolahan lebih lanjut -instalasi *treatment* khusus untuk air minum, baik yang sifatnya sederhana maupun yang sudah canggih-, hingga memenuhi standar baku mutu air minum sebagaimana yang ditetapkan dalam aturan pemerintah yang terkait dengan pengolahan air baku untuk tujuan air minum (*potable water*).

## 2.2.2. Sumur Resapan

Sumur resapan memiliki fungsi sebagai pengendali, melindungi dan memperbaiki air tanah serta menekan laju erosi. Tujuan dibangunnya sumur resapan air hujan adalah untuk mereduksi air hujan dan untuk menggantikan peresap alami yang hilang atau berkurang akibat meluasnya lahan yang berubah menjadi kedap

Persyaratan teknis pemilihan lokasi dan jumlah sumur resapan pada pekarangan, menurut SNI nomor 03-2453-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Perkarangan, persyaratan teknik tersebut meliputi :

- 1. Sumur resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar;
- 2. Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah air hujan tidak tercemar dan bebas dari kontaminasi/ pencemar limbah;
- 3. Penetapan sumur resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan di sekitarnya;
- 4. Harus mempertimbangkan aspek hidrogeologi, geologi, dan hidrologi;
- 5. Harus memperhatikan peraturan daerah setempat;
- 6. Hal hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui instansi yang berwenang. Persyaratan Teknis antara lain :

- 1. Kedalaman air tanah minimum 1,5 m pada musim hujan;
- Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai permeabilitas tanah ≥ 2cm/ jam;

Dengan klasifikasi sebagai berikut:

- a) Permeabilitas tanah sedang (geluh kelanauan, 2.0 3.6 cm/jam atau 0.48 0.864 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari):
- b) Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus, 3.6 36 cm/jam atau 0.864 8.64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hari);
- c) Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar, lebih besar 36 cm/jam atau  $8,64\,\mathrm{m}^3/\mathrm{m}^2/\mathrm{hari}$ );
- 3. Jarak terhadap bangunan sekitar.

Jarak penempatan sumur resapan air hujan terhadap bangunan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 3 Jarak Minimum Sumur Resapan Air Hujan Terhadap Bangunan

No.	Jenis Bangunan	Jarak Minimum		
110.	Jenis Dangulan	dari Sumur Resapan Air Hujan (m)		
1.	Sumur resapan air hujan/ sumur air bersih	<b>3</b> 3		
2.	Pondasi Bangunan			
3.	Bidang resapan/ sumur resapan tangki septik	5		

Sumber: SNI nomor 03-2453-2002

Dari persyaratan tersebut dapat disimpulkan bahwa beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pembuatan sumur resapan antara lain adalah geometri aquifer, kedalaman air tanah, dan sebaran permeabilitas serta jarak dengan bangunan.

Beberapa faktor yang berpengaruh mengenai ukuran dan dimensi sumur resapan yang diperlukan terhadap suatu lahan atau kapling adalah (Suripin, 2004.):

- 1. Luas tutupan permukaan : yaitu luasan tutupan lahan yang menimbulan limpasan air yang akan diresapkan. Seperti luas atap, lahan parkir, maupun perkerasan lainnya.
- 2. Karakteristik hujan : yang terdiri atas intensitas hujan, lama waktu hujan, selang waktu lama hujan. Dimana makin tinggi dan lama waktu hujan maka memerlukan dimensi sumur resapan yang juga besar, namun lamanya selang waktu hujan berpengaruh pada pengurangan volume sumur resapan.

- 3. Koefisien permeabilitas tanah: yaitu kemampuan tanah dalam melewatkan atau menyerapkan air dalam satuan waktu.
- 4. Tinggi muka air tanah: untuk kondisi tanah dengan muka air tanah dangkal serta daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut pembuatan sumur resapan relatif tidak efektif.

Dalam mendimensi sumur resapan, metode yang telah dikembangkan antara lain :

## 1. Sunjoto (2002)

Perhitungan dimensi dan efisiensi sumur resapan dihitung dengan memperhitungkan keseimbangan air yang akan meresap ke dalam tanah maupun yang masuk ke dalam sumur resapan. Kedalaman sumur optimum dapat dihitung dengan :

$$H = \frac{Q}{F.K} \left( 1 - e^{\left[ \frac{F.K.T}{\pi.R^2} \right]} \right) \tag{2-1}$$

Keterangan:

H = tinggi muka air dalam sumur (m)

F = faktor geometrik (m)

Q = debit air masuk (m<sup>3</sup>/ detik)

T = waktu/ durasi pengaliran (detik)

K = koefisien permeabilitas tanah (m/dt)

R = jari - jari / radius sumur (m)

BRAWIJAY

Tabel 2.4 Faktor Geometrik (F) Sumur Resapan

			Value of F when	
N o	Conditions	Shape factor (F)	R=1; H=0; L=0 Except for $F_1 \Rightarrow L=1$	Referenses
1	-28-	$F_{1} = \frac{2\pi L}{ln\left\{\frac{2(L+2R)}{R} + \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^{2} + 1}\right\}}$	2,980	Sunjoto (1989a)
		$F_{2a} = 4\pi R$	12,566	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin (1965)
2		$F_{2b}=18R$	18,000	Sunjoto (2002)
	]23-]	$F_{3a}=2\pi R$	6,283	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin (1965)
3	-28 -	$F_{3b}=4R$	4,000	Forchheimer (1930) Dachler (1936) Aravin (1965)
	28	$F_{4a} = \pi^2 R$	9,870	Sunjoto (2002)
4		$F_{4b} = 5,50R$	5,50	Harza (1935) Taylor (1948) Hvorslev (1951)
		$F_{4b} = 2\pi R$	6,283	Sunjoto (2002)
5	]-2R-	$F_{5a} = \frac{2\pi L + \pi^2 R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{L + 2R}{R} + \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^2 + 1} \right\}}$	6,227	Sunjoto (2002)
	]-a-[	$F_{5b} = \frac{2\pi L}{\ln\left\{\frac{L}{R} + \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^2 + 1}\right\}}$	0/0	Dachler (1936)
		$F_{5b} = \frac{2\pi L + 2\pi R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{L + 2R}{R} + \sqrt{\left(\frac{L}{R}\right)^2 + 1} \right\}}$	3,964	Sunjoto (2002)

	2R -	$F_{6a} = \frac{2\pi L + \pi^2 R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{L + 2R}{2R} + \sqrt{\left(\frac{L}{2R}\right)^2 + 1} \right\}}$	9,870	Sunjoto (2002)
6	-2R -	$F_{6b} = \frac{2\pi L}{\ln\left\{\frac{L}{2R} + \sqrt{\left(\frac{L}{2R}\right)^2 + 1}\right\}}$	0/0	Dachler (1936)
		$F_{6b} = \frac{2\pi L + 2\pi R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{L + 2R}{2R} + \sqrt{\left(\frac{L}{2R}\right)^2 + 1} \right\}}$	6,283	Sunjoto (2002)
	28-	$F_{7a} = \frac{2\pi H + \pi^2 R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H + 2R}{3R} + \sqrt{\left(\frac{H}{3R}\right)^2 + 1} \right\}}$	13,392	Sunjoto (2002)
7	-28- H	$F_{7b} = \frac{2\pi H + 2\pi R \ln 2}{\ln \left\{ \frac{H + 2R}{3R} + \sqrt{\left(\frac{H}{3R}\right)^2 + 1} \right\}}$	8,525	Sunjoto (2002)

Sumber: Sunjoto (2011)

## 2. Metode PU

Metode perhitungan efektifitas sumur resapan oleh Kementerian Pekerjaan Umum telah dituangkan dalam SNI nomor 03-2453-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Perkarangan, dimana metode tersebut digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut :

Adapun rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$H = \frac{D.I.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P}$$
(2 - 2)

## Dimana:

H = kedalaman sumur (m)

D = durasi jam (jam)

I = intensitas hujan (m/jam)

 $A_t = luas tadah hujan (m^2), dapat berupa atap rumah$ 

k = nilai pemeabilitas tanah (m/jam)

P = keliling penampang sumur (m)

 $A_s$  = luas penampang sumur (m<sup>2</sup>)

## 2.3.1. Data Hujan

18

Pada dasarnya di Indonesia, data hujan diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yang tersebar di daerah-daerah. Akan tetapi, selain dari instansi tersebut (BMG), data hujan juga dapat diperoleh dari berbagai instansi-instansi yang terkait dengan hidrologi dan sumber daya air yang berkepentingan dengan data hujan dan pemanfaatannya. Data hujan yang telah dikumpulkan, sebelum digunakan maka perlu diperiksa dulu kelayakan serta kualitasnya. Dalam analisis statistik, jumlah dan kualitas data yang akan digunakan sangat memberikan pengaruh pada baik dan akuratnya hasil penafsiran yang dihasilkan.

### 2.3.1.1.Sebaran Stasiun Hujan

Di antara faktor yang berpengaruh pada ketelitian data hujan yang dikumpulkan yakni tersedianya stasiun hujan yang mencukupi di suatu daerah yang ditinjau. Untuk menghasilkan informasi hujan yang memadai di suatu daerah maka diperlukan kerapatan stasiun hujan yang optimum. Kerapatan optimum yang dimaksud mengandung pengertian jumlah yang mencukupi dan penyebaran yang memadai di suatu kawasan atau pun di suatu cakupan daerah pengaliran sungai (DAS). Umumnya hal ini sangat dipengaruhi oleh faktor ekonomi, yakni terkait dengan biaya pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan dari suatu stasiun hujan.

Untuk mengecek apakah di suatu daerah yang ditinjau memiliki jumlah yang memadai atau tidak, dapat dinilai melalui suatu pendekatan statistik. Subramanya (2009) dalam bukunya *Engineering Hydrology*, menyarankan bahwa jika dalam suatu wilayah atau *catchment* terdapat beberapa stasiun hujan, maka jumlah stasiun hujan optimal yang harus ada dalam wilayah tersebut dapat dinilai dengan perentase kesalahan perkiraan hujan ratarata yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$N = \left(\frac{C_{\nu}}{\varepsilon}\right)^2 \tag{2-1}$$

Keterangan:

N = jumlah optimum stasiun hujan

ε = derajat kesalahan dalam perkiraan hujan rata-rata (dalam %)

 $C_v$  = koefisien variasi dari nilai hujan pada m stasiun yang ada (dalam %).

Jika terdapat m stasiun dalam suatu daerah, dan masing-masing nilai curah hujan yang tercatat adalah  $P_1$ ,  $P_2$ , ...,  $P_i$ , ...,  $P_m$  dalam suatu waktu yang telah diketahui, maka nilai koefisien variasi  $C_{\nu}$  dapat dihitung dengan persamaan;

$$C_{\nu} = \frac{100 \ x \ \sigma_{m-1}}{\overline{P}} \tag{2-10}$$

Dimana:

$$\sigma_{m-1} = \sqrt{\left[\frac{\sum_{1}^{m} (P_i \times \overline{P})^2}{m-1}\right]} = \text{standar deviasi}$$

 $P_i$  = Hujan maksimum dalam stasiun ke-i

$$P_i$$
 = Hujan maksimum dalam stasiun ke- $i$ 

$$\overline{P} = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^{m} P_i \right) = \text{curah hujan rata-rata}$$

Dalam perhitungan nilai N dalam Persamaan (2-1), biasanya digunakan nilai  $\varepsilon = 10\%$ . Sehingga nampak bahwa jika nilai ε kecil, maka jumlah stasiun hujan akan bertambah.

WMO (World Meteorological Organization) merekomendasikan, bahwa sedikitnya 10% dari total stasiun hujan yang ada harus berupa stasiun hujan tipe otomatis (selfrecording type).

Untuk kerapatan hujan di daerah beriklim tropis seperti Indonesia, WMO juga merekomendasikan bahwa idealnya terdapat satu (1) stasiun hujan dalam tiap 600 - 900 km<sup>2</sup> untuk daerah datar (flat) dan untuk daerah pegunungan (mountainous) terdapat satu stasiun dalam tiap 100 - 250 km<sup>2</sup>. Namun jika di suatu daerah datar terdapat satu stasiun dalam 900 - 3000 km<sup>2</sup> serta satu stasiun dalam 250 - 1000 km<sup>2</sup> untuk daerah pegunungan, maka kerapatan tersebut masih dapat diterima (Subramanya. 2009: 24-25).

#### 2.3.1.2. Jumlah Data

Telah disinggung sebelumnya, bahwa besar kecilnya suatu sampel data turut mempengaruhi keakuratan penafsiran statistik yang dihasilkan. Berapa batasan suatu sampel data dapat dikatakan besar atau kecil, menurut Soewarno (1995b: 9), belum ada ketentuan yang baku yang secara tegas mengatur tentang hal tersebut. Namun menurutnya lagi, para ahli telah menentukan bahwa suatu sampel dengan ketentuan jumlah data yang kurang dari

tiga puluh (N < 30) buah disebut sampel kecil dan yang sama atau lebih besar dari 30 disebut sampel besar (N  $\geq$  30) (Soewarno. 1995b: 9).

### **2.3.1.3.** Data Hujan

20

Penyiapan data hujan yang dimaksud adalah yang terkait dengan uji kualitas dari data tersebut. Hal ini diperlukan untuk menjaga akurasi hasil analisis yang dihasilkan. Dalam kajian ini dilakukan dua jenis pengujian terhadap seri data hujan yang telah dikumpulkan, yaitu; uji konsistensi dan uji trend

### 2.3.1.4. Uji Konsistensi Data Metode RAPS

Suatu deret data curah hujan untuk satu stasiun tertentu dimungkinkan sifatnya tidak konsisten. Data seperti ini tidak dapat langsung digunakan dalam analisis, karena sebenarnya data tersebut berasal dari populasi data yang berbeda. Sehingga diperlukan suatu uji yang dapat mengetahui ada atau tidak adanya penyimpangan dari data itu sendiri. Uji RAPS (*Rescale Adjusted Partial Sums*) dilakukan dengan cara menghitung nilai komulatif dari penyimpangan terhadap rata-rata dari data tersebut. Berikut besaran-besaran yang digunakan dalam uji RAPS (Sri Harto, 1993:59-60):

$$S_{k}^{*} = Y_{i} - \overline{Y} \tag{2-4}$$

$$|S_k^*|$$
 = nilai mutlak  $S_k^*$ 

$$D_y^2 = (Y_i - \overline{Y})^2 / n$$
 (2-5)

$$S_k^{**} = S_k^* / \sum D_y^2$$
 (2-6)

$$Q = S_{k \text{ maks}}^{**}$$
 (2-7)

$$R = S_{k \text{ maks}}^{**} - S_{k \text{ min}}^{**}$$
 (2-8)

Nilai statistik Q dan R diberikan dalam Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.1 Nilai Q/n<sup>0,5</sup> dan R/n<sup>0,5</sup>

		$Q/n^{0,5}$		R/n <sup>0,5</sup>			
n —	90%	95%	99%	90%	95%	99%	
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38	
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60	
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70	
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74	
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78	
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86	
	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00	

Sumber: Sri Harto (1993:60)

Suwarno (1995) menyatakan bahwa selain data hidrologi harus homogen, merupakan variabel acak bebas, mewakili kondisi DAS dan tidak terdapat data yang kosong, maka untuk penerapan analisis distribusi peluang (analisis frekuensi) terhadap data tersebut, juga harus cukup memadai ketersediaannya dan tidak menunjukkan adanya suatu trend. Apabila rekaman data menunjukkan adanya trend maka data itu tidak dapat digunakan untuk analisis distribusi peluang (Soewarno. 1995a: 163).

Analisis trend dapat digunakan juga untuk menentukan ada atau tidaknya perubahan dari variabel hidrologi yang terjadi karena pengaruh manusia atau alam. Selain dengan metode analisis regresi (*regression analysis*), analisis trend dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode rata-rata bergerak (*moving-averages method*).

Cara menghitung rata-rata bergerak adalah dengan menghitung nilai rata-rata (*mean*) dari berbagai nilai untuk periode waktu tertentu. Misal nilai dari variabel hidrologi itu deret

berkala:  $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$ ; dan periode waktu yang ingin dicari nilai rata-ratanya, m = 3 (disebut deret berkala taraf 3), maka nilai dari rata-rata bergeraknya yaitu  $Y_2, Y_3, ..., Y_{n-1}$ , dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_2 = \frac{b_1.X_1 + b_2.X_2 \ b_3.X_3}{3}$$

$$Y_3 = \frac{b_1.X_2 + b_2.X_3 \ b_3.X_4}{3}$$

$$Y_{n-1} = \frac{b_1 \cdot X_{n-2} + b_{n-1} \cdot X_2 b_3 \cdot X_n}{3}$$
 (2 - 12)

Keterangan: nilai  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  adalah faktor penimbang yang kalau dijumlahkan nilainya = m = 3.

Umumnya nilai m yang digunakan adalah bilangan ganjil, seperti m=3 atau m=5. Jika nilai  $b_1 + b_2 + b_3 + ... + b_i = m=1$ , maka disebut dengan rata-rata bergerak sederhana (*simple moving-averages*). Apabila nilainya tidak sama dengan 1 ( $b_1 + b_2 + b_3 + ... + b_i = m \neq 1$ ), maka disebut rata-rata bergerak tertimbang (*weighted moving-averages*) dan kurva-kurva yang dihasilkan lebih halus jika dibandingkan dengan yang sederhana. Nilai  $Y_i$  yang dihitung dari Persamaan (2-5), harus berpasangan dengan nilai X yang terletak di tengahtengah dari nilai-nilai X hitung (Soewarno. 1995b: 103-104).

Pengolahan data hujan dimaksudkan untuk memperoleh besar atau tinggi hujan yang akan digunakan baik untuk keperluan perhitungan volume maupun debit limpasan yang akan dikelola.

Untuk keperluan ini maka ditinjau tiga macam metode yang umum digunakan, yaitu perhitungan median, hujan rerata (bulanan, tahunan) dan hujan persentil 95. Median dan hujan rerata banyak diaplikasikan di negara-negara Eropa, Kanada dan beberapa negara bagian USA. Kelebihan metode ini adalah mampu menggambarkan sebaran hujan rata-rata bulanan dan tahunan. Sedangkan metode hujan persentil 95 direkomendasikan oleh Permen PU No. 11/PRT/M/2014 untuk diterapkan di Indonesia. Metode ini serupa dengan yang diterapkan di kota New York (persentil 90) dan Los Angeles (persentil 85). Metode persentil ini tidak mampu menggambarkan kondisi hujan yang terjadi tiap bulan atau tiap tahun, dan sangat bergantung pada jumlah data yang digunakan. Metode median dan persentil memiliki kesamaan yaitu keduanya belum tentu menggambarkan kondisi hujan yang paling ekstrim, karena boleh jadi nilai hujan yang berada pada urutan yang ditinjau bukan merupakan hujan maksimum yang terjadi. Dari sisi ini maka metode hujan rata-rata memiliki kelebihan dari kedua metode tersebut, yakni perhitungannya mencakup curah hujan ekstrim yang terjadi.

#### 2.3.2.1.Median

Median (*median*) adalah nilai tengah dari suatu distribusi, atau dapat dikatakan variat yang membagi distribusi frekuensi menjadi 2 (dua) bagian yang sama, oleh karenanya peluang) *probability* dari median selalu 50% (Soewarno. 1995a: 57). Untuk perhitungan tinggi hujan rata-rata dengan metode median ini, digunakan prosedur perhitungan terhadap data yang tidak dikelompokkan.

Untuk jumlah data yang ganjil, median adalah data pada urutan ke  $(k_1)$  yang dihitung dengan persamaan berikut.

$$k_1 = \frac{n+1}{2} \tag{2-13}$$

Keterangan:

 $k_1$  = letak median

n = jumlah data

BRAWIJAYA

Untuk jumlah data yang genap, median adalah data yang terletak pada titik tengah data urutan ke  $(k_1)$  dan  $(k_2)$ , yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$k_1 = \frac{n}{2}$$

$$k_2 = \frac{n+2}{2}$$
(2 - 14)

Keterangan:

 $k_1, k_2 = letak median$ 

n = jumlah data

Jika data yang terletak pada urutan ke- $k_1$  dinotasikan dengan  $X_1$  serta data yang terletak pada urutan ke- $k_2$  didefenisikan sebagai  $X_2$ , maka median (Me) dapat dihitung dengan persamaaan berikut:

$$Me = \frac{X_1 + X_2}{2} \tag{2-15}$$

## 2.3.2.2. Hujan Rerata Tahunan

Tinggi hujan rerata yang dimaksud dalam bahasan ini adalah hujan rerata tahunan yang ditentukan dengan metode rata-rata hitung atau rata-rata aritmetik (*arihtmetic average* atau *mean*) untuk data yang tidak dikelompokkan.

Rata-rata hitung dari hasil pengukuran variat dengan nilai  $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$  adalah hasil penjumlahan nilai-nilai tersebut dibagi dengan jumlah pengukuran sebesar n. Bila rata-rata tersebut dibagi dengan jumlah pengukuran sebesar n.

Bila rata-rata hitung dinyatakan sebagai  $\overline{X}$  (X bar), maka nilai yang diberikan adalah (Soewarno. 1995a: 38):

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \tag{2-16}$$

atau dapat ditulis dengan;

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$$
 (2 - 17)

Keterangan:

 $\overline{X}$  = rata-rata hitung

n = jumlah data

## **2.3.2.3. Hujan Rencana** (**R**<sub>24</sub>)

Median, hujan rerata tahunan, dan hujan persentil 95 digunakan untuk menghitung volume atau pun limpasan hujan yang jatuh di daerah tangkapan yang sangat kecil dan terpusat seperti atap rumah (hujan titik). Untuk estimasi debit limpasan hujan di suatu kawasan yang lebih luas maka ketiga metode tersebut tidak disarankan penggunaannya, mengingat ketidak seragaman hujan yang turun dalam suatu cakupan daerah tangkapan. Dalam rangka menghitung debit limpasan yang dimaksud, maka perlu diperhitungkan berapa hujan rencana yang akan dijadikan sebagai dasar untuk menghitung intensitas hujan yang nantinya akan digunakan dalam perkiraan debit limpasan.

Diantara cara yang lazim digunakan dalam penentuan hujan rencana atau hujan rancangan, yaitu dengan menggunakan cara analisis frekuensi. Namun, untuk sampai ke tahapan tersebut, maka perlu ditentukan dahulu sebaran hujan rerata daerah (hujan kawasan) dan curah hujan maksimum rerata daerahnya.

## 2.3.2.4. Hujan Kawasan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan daerah dan dinyatakan dalam mm.

Dengan melakukan penakaran pada suatu stasiun hujan hanyalah didapat curah hujan di suatu titik tertentu. Bila dalam suatu area terdapat penakar curah hujan, maka untuk mendapatkan harga curah hujan areal adalah dengan mengambil harga rata-ratanya.

Pada umumnya, ada tiga metode yang sering digunakan dalam menghitung hujan rerata daerah, yaitu: 1). metode rata-rata aljabar; 2). metode poligon Thiessen; dan 3). metode Isohyet.

#### 1) Metode rata-rata aljabar

Metode ini adalah metode yang paling sederhana dalam menghitung hujan rerata daerah, yang didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata/hampir merata, dan harga individual hujan tidak terlalu jauh dari harga reratanya (Suripin. 2004: 27).

Perhitungan hujan kawasan dengan metode rata-rata aljabar dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{\sum (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)}{n}$$
 (2-18)

Keterangan:

R = tinggi curah hujan rata-rata harian pada suatu DPS atau DPSal (mm/hari)

 $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , ...,  $R_n$ ,= tinggi curah hujan harian pada masing-masing stasiun hujan (mm/hari)

n = jumlah stasiun hujan.



Gambar 2.5. Lokasi stasiun hujan di dalam dan di luar DPS

#### 2) Metode poligon Thiessen

Dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*) dan lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidak seragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar hujan terdekat. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5000 km², dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya (Suripin. 2004: 27).

Perhitungan hujan kawasan dengan metode poligon Thiessen dapat dihitung dengan persamaan:

$$d = \sum_{n=1}^{n} \left( \frac{A_n \cdot d_n}{A} \right) \tag{2-19}$$

Keterangan:

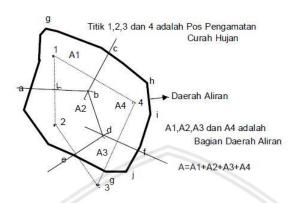
$$A = luas areal$$

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

 $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , ...,  $d_n$  = tinggi curah hujan di pos 1,2,3, ...,n

 $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , ...,  $A_n$  = luas daerah pengaruh pos 1,2,3, ...,n

n = jumlah stasiun hujan.



Gambar 2.6. Metode poligon Thiessen

### 3) Metode Isohyet

Merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan (Suripin. 2004: 27). Dalam metode ini harus digambar dahulu kontur dengan tinggi hujan yang sama (isohyet), kemudian luas bagian di antara dua isohyet yang berdekatan diukur, dan harga rata-ratanya dihitung sebagai harga rata-rata timbang dari nilai kontur, dengan rumus sebagai berikut:

$$d = \frac{\sum_{n=1}^{n} \left( \frac{d_{(n-1)} + d_n}{2} \right) \cdot A_n}{n}$$
 (2-20)

Keterangan:

A = luas areal

d = tinggi curah hujan rata-rata areal

 $d_1, d_2, d_3, ..., d_n = \text{tinggi curah hujan di pos } 1,2,3, ...,n$ 

 $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , ...,  $A_n$  = luas daerah pengaruh pos 1,2,3, ...,n

n = jumlah stasiun hujan.

Menurut Suripin (2004) untuk memilih metode mana yang cocok digunakan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan tiga faktor, yaitu: berdasarkan sebaran jumlah pos penakar hujan, luas DAS/DPS, serta berdasarkan kondisi topografi dari DAS/DPS tersebut.

Gambar 2.7. Metode Isohyet

Penentuan atau pemilihan metode curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003: 51):

- 1. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.
- 2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata 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 oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen.
- 4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohiet atau metode potongan antara.

Tabel 2.6. Faktor pertimbangan pemilihan metode perhitungan hujan rerata daerah

Faktor Pertimbangan	Kriteria	Kecocokan Metode
Sebaran jumlah pos	Cukup	Rata-rata aljabar, Thiessen,
penakar hujan		Isohyet
	Terbatas	Rata-rata aljabar, Thiessen
	Tunggal	Metode hujan titik
Luas DAS/DPS	Besar (> 5000 km <sup>2</sup> )	Isohyet
	Sedang (500 s/d 5000 km <sup>2</sup> )	Thiessen
	Kecil (< 500 km <sup>2</sup> )	Rata-rata aljabar
Topografi DAS/DPS	Pegunungan	Rata-rata aljabar
	Dataran	Thiessen
	Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

(Sumber: Suripin. 2004: 31-32)

BRAWIJAYA

## 2.3.2.5. Hujan Harian Maksimum Rerata Daerah

Untuk daerah yang memiliki tiga atau lebih stasiun penakar hujan, maka curah hujan yang dipakai dalam perhitungan hujan maupun debit rencana bukan curah hujan maksimum dari masing-masing stasiun yang langsung dirata-ratakan atau dikonversi menjadi hujan kawasan. Akan tetapi yang digunakan adalah curah hujan harian maksimum rata-rata daerah yang ditentukan dengan cara berikut:

- a) Cari dan catat hari (tanggal) dan nilai maksimum hujan yang tercatat di salah satu stasiun.
- b) Kemudian lihat dan catat besar curah hujan yang terjadi di stasiun-stasiun yang lain, pada hari (tanggal) yang sama.
- c) Dengan menggunakan salah satu dari tiga metode perhitungan hujan rerata daerah, hitung rata-rata curah hujan tersebut.
- d) Tentukan curah hujan maksimum (seperti langkah a)) puntuk stasiun yang lain, pada hari (tanggal) yang sama.
- e) Ulangi langkah b) dan c). untuk seluruh hari (tanggal) dan tahun data.
- f) Dari kumpulan hasil hitungan curah hujan rata-rata (langkah c)) seluruh data, pilih nilai maksimumnya.
- g) Data hujan yang terpilih merupakan curah hujan harian maksimum rerata daerah (*basin rainfall*).

## 2.3.2.6. Analisis Frekuensi Hujan

Sedianya ada beberapa cara statistik yang umum digunakan dalam melakukan analisis frekuensi hujan, namun yang paling sering digunakan hanya empat cara, yaitu: Distribusi Normal, Gumbel, Log Normal, dan Log Person Tipe III. Dari keempat cara tersebut, Kementerian Pekerjaan Umum melalui Permen PU No. 12/PRT/M/2014 merekomendasikan tiga cara yang disebutkan terakhir dalam perencanaan drainase perkotaan, yaitu Distribusi Gumbel, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III.

a) Metode Gumbel

Persamaan yang digunakan:

$$X_t = \overline{X} + k \cdot S_x \tag{2-21}$$

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \tag{2-22}$$

$$S_{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_{i} - \overline{X})^{2}}{n - 1}}$$
 (2-23)

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \tag{2-24}$$

$$Y_{t} = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) \tag{2-25}$$

### Keterangan:

X<sub>t</sub> = variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk
 periode ulang T tahun.

 $\overline{X}$  = harga rata-rata dari data

 $X_i$  = seri data hujan maksimum tiap tahun (hujan harian maksimum rerata daerah)

 $S_x$  = simpangan baku (standar deviasi)

n = jumlah data

k = variabel reduksi Gauss (lihat Tabel 2.6)

T = tahun kala ulang

Y<sub>t</sub> = reduksi sebagai fungsi dari probabilitas (Lihat Tabel 2.7)

 $Y_n$  dan  $S_n$  = besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan n (lihat Tabel 2.8 dan 2.9)

Tabel 2.5. Faktor frekuensi untuk nilai ekstrim/variabel reduksi Gauss (k)

Bauta da									
Periode	Peluang (1/T)	K							
Ulang, T									
1,001	0,999	-3,091							
1,005	0,995	-2,578							
1,01	0,990	-2,330							
1,05	0,952	-1,668							
1,11	0,901	-1,287							
1,25	0,800	-0,842							
1,33	0,752	-0,680							
1,43	0,699	-0,522							
1,67	0,599	-0,250							
2	0,500	0							
2,5	0,400	0,253							
3,33	0,300	0,524							
4	0,250	0,674							
5	0,200	0,842							
10	0,100	1,282							
20	0,050	1,645							
50	0,020	2,054							
100	0,010	2,326							
200	0,005	2,576							
500	0,002	2,878							
1000	0,001	3,090							

(Sumber: Bonnier. 1980 dalam Soewarno. 1995a: 119)

T	Yt	T	Yt
1,01	-1,53	20	2,97
1,58	0,0	50	3,90
2,00	0,37	100	4,60
5,00	1,50	200	5,30
10,00	2,25		801

(Sumber: SK SNI M-18-1989-F, Metode Perhitungan Debit Banjir dalam Dir. PPLP. 2013: 1013)

Tabel 2. 7. Rata-rata tereduksi, Y<sub>n</sub>

0.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n.
,495	,499	,503	,507	,510	,512	,515	,518	,520	,522	10
,523	,525	,526	,528	,529	,530	,532	,533	,534	,535	20
,536	,537	,538	,538	,539	,540	,541	,541	,542	,543	30
,543	,544	544	,545	,545	,546	,546	,547	,547	,548	40
,548	,549	,549	,549	,550	,550	,550	,551	,551	,551	50
,552	,552	,552	,553	,553	,553	,553	,554	,554	,554	60
,554	,555	,555	,555	,555	,555	,555	,556	,556	,556	70
,556	,557	,557	,557	,557	,558	,558	,558	,558	,558	80
,558	,558	,558	,559	,559	,559	,559	,559	,559	,559	90
,560		-cross-c-104000	-	A.	FIVE		:000/8929		300000000	100

(Sumber: SK SNI M-18-1989-F, Metode Perhitungan Debit Banjir dalam Dir. PPLP. 2013: 1015)

Tabel 2.8. Simpangan baku tereduksi, S<sub>n</sub>

n.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,94	0,96	0,98	0,99	1,00	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05
20	1,06	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,10
30	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13
40	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
50	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
60	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
70	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
80	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
90	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
100	1,20									

(Sumber: SK SNI M-18-1989-F, Metode Perhitungan Debit Banjir dalam Dir. PPLP. 2013: 1014)

## b) Metode Log Normal

Persamaan yang digunakan:

$$LnX_{t} = \overline{LnX} + k.S_{LnX}$$
 (2-26)

$$\overline{LnX_{i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} LnX_{i}}{n}$$
(2-27)

Keterangan:

 $Ln\ X_t$  = variate yang diekstrapolasikan (dalam logaritmik normal), yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

 $\overline{LnX}$  = harga rata-rata dari data (dalam logaritmik normal)

 $Ln \qquad X_i \qquad = seri \; data \; hujan \; maksimum \; tiap \; tahun \; (hujan \; harian \; maksimum \; \\ \\ rerata \; daerah, \; dalam \; logaritmik)$ 

 $S_{Ln X}$  = simpangan baku (standar deviasi) dari logaritmik data.

n = jumlah data

k = variabel reduksi Gauss (lihat Tabel 2.10)

c) Log Pearson Tipe III

Parameter statistik yang diperlukan adalah:

- i. Harga rata-rata
- ii. Standar deviasi
- iii. Koefisien kepencengan

Persamaan yang digunakan:

$$Log X_t = \overline{Log X} + G.S_{Log X}$$
 (2-29)

$$\overline{Log X_t} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Log X_i}{n}$$
 (2-30)

$$S_{LogX} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Log X_i - \overline{Log X})^2}{n-1}}$$
 (2-31)

$$Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n} (Log X_i - \overline{Log X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_{Log X}^3}$$
(2-32)

Keterangan:

 $Log X_t$  = variate yang diekstrapolasikan (dalam logaritmik), yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

Log X	= harga rata-rata dari data (dalam logaritmik)	)

 $Log \ X_i \qquad = seri \ data \ hujan \ maksimum \ tiap \ tahun \ (hujan \ harian \ maksimum$ 

rerata daerah, dalam logaritmik)

 $S_{\text{Log }X}$  = simpangan baku (standar deviasi) dari logaritmik data.

 $C_s$  = koefisien kepencengan (*skewness*)

n = jumlah data

G = Faktor sifat distribusi Log Pearson Tipe III (lihat Tabel 2.9 dan

Tabel 2.10)

Tabel 2. 9. Faktor sifat distribusi Log Pearson III (G) untuk koefisien kepencengan positif

Skew	10,101	10,526	11,111	0,01250	2	5	10	25	50	100	200
Coefficient	Percent Chance										
,c,	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0,5
3,0	-0,667	-0,665	-0,660	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970
2,9	-0,690	-0,688	-0,681	-0,651	-0,390	0,440	1,195	2,277	3,134	4,013	4,909
2,8	-0,714	-0,711	-0,702	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973	4,847
2,7	-0.740	-0.736	-0,724	-0,681	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,097	3,982	4,783
2,6	-0.769	-0,762	-0,747	0,-696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	-0.799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	3,652
2,4	-0,832	-0,819	-0,795	0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800	4,584
2,3	-0.867	-0,85	-0,819	-0,739	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3.753	4,515
2,2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,711	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,454
2,1	-0,946	-0,914	-0,869	-0,725	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	-0,990	-0,949	-0,895	-0,739	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,606	4,298
1,9	-1,037	-0,984	-0,920	-0,752	-0,294	0,627	1,310	2,207	2,881	3,553	4,223
1,8	-1.087	-1,020	-0,945	-0,765	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1,7	-1,140	-1,056	-0,970	-0,777	-0.268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,788	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1,5	-1,256	-1,131	-1,018	-0,799	-0,240	0,690	1,333	2,146	2,743	3,330	3,910
1,4	-1,318	-1,163	-1,107	-0,808	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	-1,388	-1,206	-1,128	-0,817	-0,210	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	-1,449	-1,243	-1,147	-0,825	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1,1	-1,518	-1,280	-1,107	-0,832	-0,180	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,838	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0.9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,844	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,967	3,575
0,8	-1,733	-1,388	-1,166	-0,848	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,489
0,7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,852	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,401
0,6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,854	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132
0,5	-1,955	-1,491	-1,216	-0,856	-0,983	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041
0,4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0,3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	-2,175	-1,586	-1,258	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	-2,252	-1,616	-1,270	-0,846	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670
0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576

(Sumber: Soemarto. 1995: 153; Montarcih. 2010: 60)

#### 2.3.2.7.Pemilihan Distribusi Frekuensi

Untuk memilih distribusi mana yang paling mendekati atau cocok untuk digunakan, maka perlu diperhatikan sifat-sifat khas dari masing-masing distribusi tersebut. Hal ini disebabkan karena pemilihan distribusi yang tidak benar akan menimbulkan kesalahan

dalam perkiraan, yang bisa saja kelebihan (*over-estimated*) atau kekurangan (*under-estimated*), yang mana kedua hal tersebut tentu saja tidak diinginkan.

Menurut Sri Harto (1989) pemilihan salah satu jenis distribusi tanpa melalui pengujian data hidrologi sangat tidak dianjurkan, meskipun dalam praktek harus diakui bahwa besar kemungkinan distribusi tersebut sesuai dengan jenis distribusi tertentu. Sebagai contoh, di Indonesia banyak dilakukan analisis frekuensi menggunakan distribusi Gumbel sementara dari hasil penelitian di Pulau Jawa ditemukan bahwa distribusi Gumbel hanya sesuai dengan 7% kasus, demikian pula distribusi Normal, sementara 90% lainnya mengikuti distribusi Log Normal dan Log Pearson Tipe III (Sri Harto. 1989: 291).

Tabel 2. 11. Faktor sifat distribusi Log Pearson III (G) untuk koefisien kepencengan negatif

Skew	10,101	10,526	11,111	0,01250	2	5	10	25	50	100	200
Coefficient				75	P	ercent Chan	ce				
, C,	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0,5
0	-2,326	-1,645	-1,282	-0.842	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576
-0,1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	0,017	0,846	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482
-0,2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388
-0,3	-2,544	-1,726	-1,309	-0,824	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294
-0,4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201
-0,5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108
-0,6	-2,755	-1,797	-1,328	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016
-0.7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926
-0.8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837
-0.9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	0.148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749
-1,0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	0.164	0.852	1,128	1,366	1.492	1,588	1,664
-1,1	-3,087	-1,894	-1,341	-0,745	0.180	0.848	1,107	1,324	1,435	1,518	1,581
-1,2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501
-1,3	-3,211	-1,925	-1,339	-0,719	0,210	0,838	1,064	1,240	1,324	1,383	1,424
-1,4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351
-1,5	-3,330	-1,951	-1,333	-0,690	0,240	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256	1,282
-1,6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216
-1,7	-3,444	-1,972	-1,324	-0,66	0,268	0,808	0,970	1,075	1,116	1,140	1,155
-1.8	-3,449	-1,981	-1,318	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,09
-1.9	-3,553	-1.989	-1,310	-0,627	0,294	0,788	0,920	0,996	1,023	1,037	1,044
-2.0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,609	0,307	0,777	0.895	0,959	0.980	0,990	0.995
-2.1	-3,656	-2,001	-1,294	-0,592	0,319	0,765	0,869	0,923	0,939	0,346	0,949
-2,2	-3,705	-2,008	-1,284	-0,574	0,330	0,752	0.844	0,888	0,900	0,905	0.907
-2,3	-3,753	-2,009	-1,274	-0,555	0,341	0,739	0,819	0,855	0,864	0,867	0,869
-2,4	-3,800	-2,011	-1,262	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832	0,833
-2.5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,360	0,711	0,771	0,793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3,889	-2,013	-1,238	-0,499	0,368	0,696	0,747	0,764	0.768	0,769	0.769
-2.7	-3,902	-2,012	-1,224	-0,479	0,376	0,681	0.724	0,738	0.740	0.740	0.74
-2,8	-3,973	-2,010	-1,210	-0,460	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714	0.714
-2,9	4,013	-2,007	-1,195	-0,440	0,330	0,651	0,681	0,683	0,689	0,690	0,690
-3,0	-4,061	-2,008	-1,180	-0,420	0,390	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667

(Sumber: Soemarto. 1995: 153; Montarcih. 2010: 61)

## 2.3.2.8.Uji Kesesuaian Distribusi

Setelah identifikasi awal distribusi mana yang cocok digunakan berdasarkan sifat-sifat khasnya, maka yang tak kalah pentingnya untuk diperhatikan adalah pengujian kesesuaian distribusi frekuensi tersebut.

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis serta untuk mengetahui kebenaran dari suatu hipotesa, diterima atau ditolak untuk digunakan pada perhitungan selanjutnya.

Untuk menentukan posisi pengeplotan yang sebagian besar dilakukan secara empiris, maka telah dikembangkan berbagai metode. Namun yang paling sering digunakan yaitu dengan menggunakan persamaan Weibull. Tahapan-tahapan pengeplotan data (Montarcih. 2010: 64) diuraikan sebagai berikut:

- i. Data curah hujan maksimum harian rata-rata tiap tahun disusun dari besar ke kecil.
- ii. Hitung probabilitasnya dengan menggunakan rumus Weibull (Sri Harto. 1993 dalam Montarcih. 2010: 64):

$$P = \frac{m}{n+1} *100\% \tag{2-33}$$

Keterangan:

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data dari seri yang telah diurutkan

n = banyaknya data

- iii. Plot data hujan (X<sub>i</sub>) dengan probabilitas P.
- iv. Tarik garis lurus dengan mengambil 3 titik pada Metode Gumbel (garis teoritis berupa garis lurus) dan 3 titik pada Metode Log Pearson Tipe III dan Log Normal (garis teoritis berupa garis lengkung, kecuali untuk Cs = 0 maka garis teoritisnya berupa garis lurus).

Dua metode yang sering digunakan untuk melakukan uji kesesuaian distribusi, yaitu; uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov.

## 1) Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengujian ini merupakan pengujian simpangan tegak lurus (vertikal) dan menggunakan parameter  $\chi^2$ , serta dihitung dengan menggunakan persamaan (Montarcih. 2010: 67):

$$\chi^{2}_{hitung} = \sum_{i=1}^{k} \frac{(F_{e} - F_{t})^{2}}{F_{t}}$$
 (2-34)

## Keterangan:

 $\chi^2_{\text{hitung}}$  = harga chi-kuadrat terhitung

 $F_e$  = frekuensi pengamatan kelas j

 $F_t$  = frekuensi teoritis kelas j

k = jumlah kelas.

Derajat bebas dirumuskan d<sup>k</sup> dirumuskan sebagai berikut:

 $d^k = k - 1$ , jika frekuensi dihitung tanpa mengestimasi parameter dari sampel.

 $d^k = k - 1$ -m, jika frekuensi dihitung dengan mngestimasi m parameter dari sampel.

Harga  $\chi^2$  dengan derajat bebas (v) seperti tersebut di atas dibandingkan dengan  $\chi^2$  dari tabel dengan tingkat keyakinan ( $\alpha$ ) tertentu. Jika  $\chi^2_{hitung}$ <  $\chi^2_{cr}$  (dalam Tabel 2.12) berarti data sesuai dengan distribusi yang dipilih.

Tabel 2.11.	Nilai kritis	untuk distribusi Chi	-Kuadrat (uji satu sisi)

			3/0			
Derajat bebas (d <sup>k</sup> )		a (lev	el of significa	ince)		
Derajat bebas (u )	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	
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	

## 2) Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov yang sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu) merupakan uji distribusi

terhadap penyimpangan data ke arah horisontal, untuk mengetαhui apakah suatu data sesuai dengan jenis sebaran yang dipilih atau tidak.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data, antara sebaran empiris dan teoritis, dan dinyatakan dalam  $\Delta$ . Harga  $\Delta$  terbesar ( $\Delta_{maks}$ ) dibandingkan dengan simpangan kritis  $\Delta_{cr}$  (dari Tabel 2.18) dengan tingkat keyakinan ( $\alpha$ ) tertentu. Distribusi dianggap sesuai jika:  $\Delta_{maks} < \Delta_{kritis}$ .

Persamaan yang digunakan adalah:

$$\Delta_{maks} = |P_e - P_t| \tag{2-37}$$

## Keterangan:

 $\Delta_{\text{maks}}$  = selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis

P<sub>e</sub> = peluang empiris

P<sub>t</sub> = peluang teoritis

k = jumlah kelas

 $\Delta_{cr}$  = simpangan kritis (dari Tabel 2.12)

Tabel 2. 12. Nilai  $\Delta_{cr}$  uji Smirnov-Kolmogorov

Jumlah data	α	(level of si	gnificanc	<i>e</i> )
(n)	20%	10%	5%	1%
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	<u>1,07</u>	<u>1,22</u>	<u>1,36</u>	<u>1,63</u>
IN > 30	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$

(Sumber: Suripin. 2004: 65)



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Studi

Kota Batu yang terletak di lereng Gunung Panderman dan berada pada ketinggian antara 700 – 1100 meter di atas permukaan laut, sangat potensial untuk dijadikan tempat wisata dan peristirahatan. Kawasan kota ini merupakan daerah penyangga bagi kawasan lainnya karena merupakan hulu DAS Brantas.

Pada penelitian ini, studi kasus dilakukan di kawasan *Block Office* Balai Kota Among Tani Kota, meliputi komplek kantor Walikota Batu dan Perumahan Batu Panorama. Secara administratif kawasan ini terletak di Kecamatan Batu Kota Batu.

Dasar pemilihan lokasi ini adalah bahwa kawasan ini merupakan kawasan strategis, disamping mempunyai potensi pengembangan pembangunan wilayah kota yang cukup baik. Dengan terbangunnya kawasan ini, lahan terbuka dan resapan air semakin berkurang. Selain itu untuk memenuhi kebutuhan akan air bersih bagi penghuninya, pihak pengembang perumahan membuat sumur bor dengan debit pengambilan 10 l/detik. Dengan adanya eksploitasi sumur bor ini, maka diharapkan pihak pengembang juga melakukan upaya konservasi air tanah.



Gambar 3.1. Lokasi Studi

38

## 3.2. Kondisi Topografi dan Geologi

Kawasan *Block Office* Balai Kota Among Tani Kota ini didominasi jenis tanah andosol. Berdasarkan peta geologi Kota Batu, tampak bahwa kawasan ini merupakan daerah dengan formasi batuan gunung api Arjuno – Anjasmoro.

#### 3.3. Sistem Drainase Eksisting

Sistem drainase di kawasan ini merupakan sistem drainase gabungan (*mix drain*) dimana pembuangan air limbah/air kotor dan air hujan disalurkan melalui satu saluran. Terdiri dari jaringan tersier (saluran yang membawa air buangan/hujan dari rumah ke saluran sekunder), jaringan sekunder (menghubungkan jaringan tersier dan jaringan primer), dan jaringan primer (membawa air buangan/hujan masuk ke badan sungai). Seluruh limpasan hujan dari kawasan ini akan dialirkan oleh jaringan primer menuju outlet yakni Sungai Kebo, yang merupakan anak Sungai Brantas.

# 3.4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada studi ini menggunakan pendekatan metode survei, yaitu perolehan data dilakukan dengan cara langsung dikumpulkan dari sumber pertama atau pengukuran langsung di lapangan (data primer) dan dari instansi terkait atau secara tidak langsung (data sekunder). Jenis data yang dikumpulkan pada dasarnya terdiri dari data spasial dan data non spasial yang menggambarkan karakteristik kawasan *Block Office* Balai Kota Among Tani Kota.

#### 3.5. Alat dan Bahan

Dalam penyusunan studi ini diperlukan data yang mendukung baik itu data primer maupun data sekunder. Data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan studi ini antara lain sebagai berikut:

 Data curah hujan digunakan untuk menentukan besarnya intensitas hujan yang terjadi di lokasi studi sebagai data masukan untuk menjalankan SWMM. Data curah hujan yang digunakan adalah dari stasiun hujan yang berpengaruh terhadap lokasi studi yaitu stasiun penangkar hujan Ngaglik bersumber dari Dinas Pekerjaan Umum. Adapun data yang digunakan adalah data tahun 2008 – 2017.

39

Pertanahan Kota Batu, serta melalui survey lapangan.

3. Gambar m*aster plan* dan *layout* lokasi studi, serta peta jaringan drainase eksisting bersumber dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Pertanahan Kota Batu dan pengembang perumahan,

- 4. Data jenis tanah, bersumber dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Pertanahan Kota Batu dan pengembang perumahan. Selain itu dilakukan pengukuran laju infiltrasi langsung dengan metode penggenangan (*flooding*) menggunakan alat *Turf-tec Infiltrometer*.
- 5. Data fisik tanah, diperoleh dengan melakukan pengambilan sample tanah untuk mengetahui sifat fisik tanah uji yaitu kadar air, ukuran butiran, dan porositas tanah.
- 6. Data muka air tanah dari hasil pengamatan sumur air tanah milik warga di sekitar lokasi studi.
- 7. Peraturan Wali Kota Batu Nomor 21 Tahun 2015 tentang Pembuatan Sumur Resapan dan Biopori,
- 8. Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 2453 2002 tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Sumur Resapan Air Hujan Untuk Lahan Pekarangan.

## 3.6. Langkah-langkah Pengerjaan Studi

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan Studi Pustaka terhadap teori, penelitian terdahulu, dan peraturan yang berlaku yang akan digunakan pada studi ini.
- 2) Melakukan pengumpulan data.

Data-data yang dibutuhkan dalam studi ini sebagaimana disebutkan pada sub bab sebelumnya.

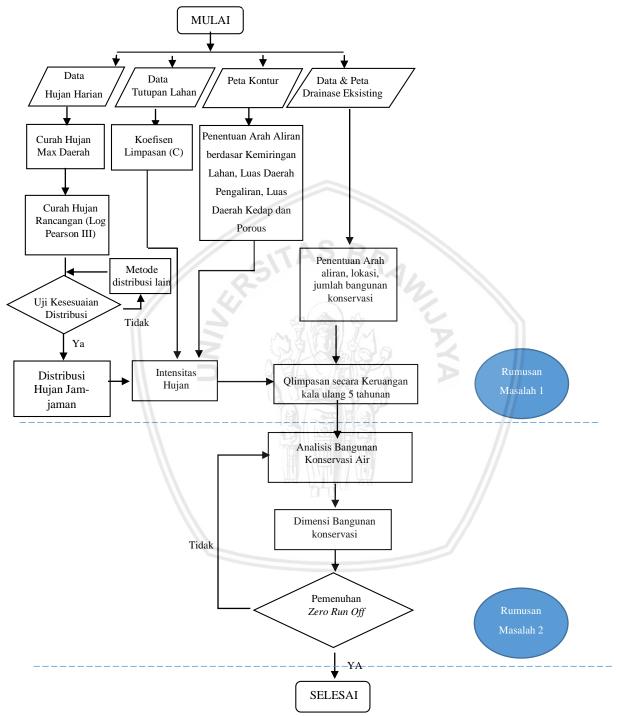
3) Melakukan analisis hidrologi

Analisis hidrologi dimulai dengan pengujian data, apakah data yang terkumpul memenuhi syarat statistik untuk digunakan untuk analisa hidrologi. Analisa hidrologi meliputi Uji Konsistensi Data; Uji Outlier; Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah; Perhitungan Curah Hujan Rancangan dengan metode Log Pearson Tipe III; Uji Distribusi Frekuensi yaitu dengan Chi-Square dan Smirnov Kolmogorof; Intensitas hujan selama durasi waktu konsentrasi setiap kala ulang.

- Nilai hujan rancangan yang akan dijadikan dasar perhitungan berdasarkan rumus—rumus perhitungan secara analisa perhitungan.
- 4) Analisa debit limpasan secara keruangan berdasar hujan rancangan dengan kala ulang 5 tahunan.
  - Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui limpasan keruangan yang terjadi berdasar hujan rancangan dengan kala ulang 5 tahunan. Analisa dilakukan berdasar kondisi penggunaan lahan eksisting (saat ini) dan guna lahan rencana pengembangan menggunakan software SWMM 5.1.
- 5) Melakukan analisis bangunan konservasi air berbasis *zero run off*Tahapan ini dilakukan untuk menganalisa dimensi bangunan yang sesuai untuk diterapkan di lokasi studi dengan menggunakan debit limpasan keruangan berdasar kala ulang 5 tahunan. Pertimbangan yang digunakan dalam penempatan struktur teknologi konservasi air tanah, diantaranya adalah ketersediaan lahan dan tata guna lahan.
- 6) Evaluasi Penerapan Teknologi Konservasi Air Tanah berbasis *zero run off*.

  Evaluasi dilakukan terhadap teknologi konservasi air yang telah direncanakan, apakah sudah memenuhi konsep *zero run off* ataukah belum. Bila tidak memenuhi, maka akan dilakukan analisis teknologi konservasi air lainnya.

  Pada tahapan ini digunakan model simulasi limpasan curah hujan dinamis SWMM 5.1, dengan keluaran tinggi limpasan pada kondisi sebelum dan sesudah adanya perubahan guna lahan serta setelah adanya struktur teknologi konservasi air.
- 7) Penarikan kesimpulan model konservasi air berbasis *zero run off* di area studi yang nantinya dapat diterapkan di seluruh wilayah Kota Batu.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penyelesaian Studi



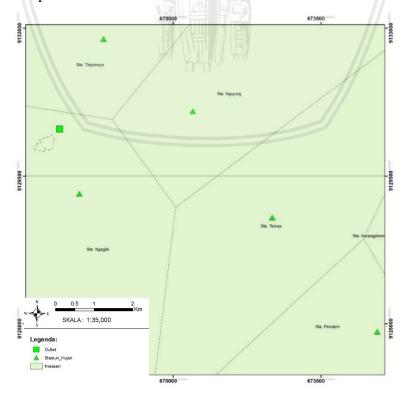
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Hidrologi

Dalam memperkirakan pengaruh kejadian hujan terhadap suatu daerah dapat dilakukan dengan analisis hidrologi. Analisis kejadian hujan dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui siklus hujan pada suatu daerah, menentukan kawasan pengaruh hujan dan untuk menentukan berapa besar curah hujan rencana, intensitas hujan, koefisien limpasan dan dilakukan perhitungan besaran debit pengaliran.

## 4.1.1.Stasiun Hujan dan Data Hujan

Data curah hujan yang dapat digunakan adalah data dari lima stasiun hujan yaitu stasiun hujan Junggo, Ngaglik, Ngujung, Pendem, Temas, Tinjumoyo, dan Tlekung. Setelah dilakukan penggambaran poligon thiessen, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, hanya ada 1 stasiun hujan yang berpengaruh terhadap lokasi studi yaitu stasiun hujan Ngaglik. Dengan demikian data hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan periode tahun 2008 sampai dengan tahun 2017. Selanjutnya, penyajian data curah hujan maksimum pada **Tabel 4.1**.



Gambar 4.1. Polygon Thiessen

43

т.ь						Bu	lan						CH. Maks
Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agt	Sept	Okt	Nop	Des	(mm/hr)
2008	46	46	63	27	13	33	0	10	1	0	66	74	74
2009	86	64	58	22	49	18	1	0	5	14	48	52	86
2010	60	103	69	83	38	12	58	38	38	46	80	58	103
2011	52	56	63	37	46	13	9	0	0	18	42	39	63
2012	57	58	32	18	34	24	0	0	0	11	56	46	58
2013	41	24	32	46	35	17	38	8	0	7	23	110	110
2014	56	27	34	46	63	8	9	4	0	0	68	52	68
2015	14	35	28	39	74	4	0	0	0	0	18	44	74
2016	20	55	19	25	42	34	8	28	27	48	34	41	55
2017	48	32	44	28	33	4	9	0	46	13	55	24	55

Tabel 4.1. Curah Hujan Maksimum SCH Ngaglik

Sumber: Hasil Perhitungan

Analisis hidrologi merupakan analisis awal yang sangat penting dalam analisa selanjutnya yaitu sebagai data utama untuk menentukan besarnya limpasan permukaan pada lokasi studi.

Analisa hidrologi yang akan dikaji adalah meliputi:

- 1) Uji Konsistensi Data
- 2) Uji Outlier
- 3) Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah
- 4) Perhitungan Curah Hujan Rancangan dengan metode Log Pearson Tipe III
- 5) Uji Distribusi Frekuensi yaitu dengan Chi-Square dan Smirnov Kolmogorof
- 6) Intensitas hujan selama durasi waktu konsentrasi setiap kala ulang.

### 4.1.2.Uji Konsistensi

Menurut Sri Harto (1993), uji konsistensi perlu dilakukan untuk menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi kesalahan pada saat pengiriman atau pengukuran. Pada studi ini, data hujan harian setiap stasiun selama 10 tahun terlebih dahulu diuji konsistensi datanya dengan menggunakan metode RAPS (*Rescale Adjusted Partial Sums*) seperti yang dijelaskan dalam tinjauan pustaka.

Metode RAPS (*Rescale Adjusted Partial Sums*), merupakan pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri (uji homogenitas), yaitu pengujian kumulutif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya (Buishand, 1982 dalam Harto, 1993:59).

Perhitungan uji konsistensi dengan metode RAPS ditampilkan pada Tabel 4.2. adapun langkah pengerjaan metode RAPS pada stasiun hujan Ngaglik adalah sebagai berikut:

- Jumlah data Curah Hujan (n) = 10
- Simpangan Mutlak [Sk\*] = Curah Hujan Rerata Curah Hujan = 74 – 74,60

$$= -0,60$$

$$= \frac{(Sk^*)^2}{\sum Data Curah Hujan}$$

$$= \frac{0,60^2}{10}$$

$$= 0,04$$
- Simpangan rata – rata (Dy) 
$$= \sum (Dy^2)^{0.5}$$

$$= (341,24)^{0.5}$$

$$= 18,47$$
- Nilai Konsistensi Data  $[Sk^{**}] = \frac{Sk^*}{Dy}$ 

$$= \frac{-0,60}{18,47}$$

Dari nilai [Sk\*\*] diambil nilai Sk\*\* maks dan Sk\*\* min untuk menghitung Q dan
 R, berikut merupakan nilai Sk\*\* maks dan Sk\*\*min

$$Sk^** maks = 1,916$$
  
 $Sk^** min = -1,061$ 

- Nilai statistik Q untuk  $0 \le K \ge n$  = [Sk\*\*maks] = 1,916

- Nilai statistik (R) = 
$$[Sk**maks] - [Sk**min]$$
  
=  $1,916 - (-1,061)$   
=  $2,977$ 

- Nilai  $Q/n^{0.5} dan R/n^{0.5}$ :

$$Q/n^{0.5}$$
 = 1,916/10<sup>0.5</sup>  
= 0.606 < 1.05 (dengan probabilitas 90%)  
 $R/n^{0.5}$  = 2,977/10<sup>0.5</sup>  
= 0.942< 1.21 (dengan probabilitas 90%)

- Jika nilai Q/n<sup>0.5</sup> dan R/n<sup>0.5</sup> perhitungan kurang dari Q/n<sup>0.5</sup> dan R/n<sup>0.5</sup> Tabel Data dinyatakan layak digunakan (konsisten). Untuk selengkapnya perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Hujan  $D_v^2$ Sk\*\* [Sk\*\*] No Tahun Sk\* (mm/hari) 2008 74,00 -0,60 0,04 -0,03 0,03 1 0,62 2 2009 86,00 11,40 13,00 0,62 103,00 28,40 80,66 1,54 3 2010 1,54 4 63,00 -11,60 13,46 -0,63 0,63 2011 5 2012 58,00 -16,60 27,56 -0,90 0,90 110,00 35,40 1,92 6 2013 125,32 1,92 7 2014 68,00 -6,60 4,36 -0,36 0,36 0,04 8 2015 74,00 -0,60 -0,03 0,03 9 2016 55,00 -19,60 38,42 -1,06 1,06 10 2017 55,00 38,42 -19,60 -1,06 1,06 Jumlah 746,00 341,24 Rerata 74,60

Tabel 4.2. Uji Konsistensi Curah Hujan Stasiun Ngaglik

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil uji konsistensi pada stasiun hujan Ngaglik sebagaimana tabel di atas, menunjukkan bahwa data dari stasiun tersebut adalah konsisten, sehingga berdasarkan kesimpulan ini maka data hasil pengukuran hujan dari Stasiun Hujan Ngaglik tidak perlu dikoreksi dan dapat digunakan dalam proses analisis selanjutnya.

## 4.1.3. Uji Outlier

Outlier adalah data yang menyimpang cukup jauh dari trend kelompoknya. Keberadaan outlier biasanya dianggap mengganggu pemilihan jenis distribusi suatu sample data, sehingga outlier ini perlu dibuang. Uji Grubbs dan Beck menetapkan dua batas ambang  $X_L$  dan  $X_H$ . Data hujan dari masing-masing stasiun diurutkan dari yang terbesar terlebih dahulu.

Berikut langkah perhitungan uji outlier stasiun hujan Ngaglik :

```
- Stdev log x (S) = 0.108

- Mean log x (Xr) = 1.860

- XH = Xr + Kn.S

= 1.860 + 2.036 x 0.108

= 1.61

- XL = Xr - Kn.S

= 1.860 - 2.036 x 0.108

= 1.46
```

BRAWIJAY

- Untuk menghitung nilai XH dan XL diperlukan nilai Kn, nilai Kn didapat dari tabel pada sub Bab 2 Tinjauan Pustaka.
- Nilai ambang atas = antilog XH = 120.11
- Nilai ambang bawah = antilog XL = 43.76

Perhitungan uji *outlier* ditampilkan pada tabel 4.3. dan tabel 4.4.

Tabel 4.3 Curah hujan maksimum harian stasiun Ngaglik yang telah diurutkan

Nie	Tahan	CH. Maks	Rang	king Data
No	Tahun	(mm)	Tahun	CH maks
1	2008	74	2016	55
2	2009	86	2017	55
3	2010	103	2012	58
4	2011	63	2011	63
5	2012	58	2014	68
6	2013	110	2008	74
7	2014	68	2015	74
8	2015	<b>22</b> 74	2009	86
9	2016	55	2010	103
10	2017	55	2013	110

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 4.4 Uji outlier stasiun Ngaglik

No	Tahun	СН	Data Urut (X)	P	Log X
1	2008	74	110	9,09	2,041
2	2009	86	103	18,18	2,013
3	2010	103	86	27,27	1,934
4	2011	63	74	36,36	1,869
5	2012	58	74	45,45	1,869
6	2013	110	68	54,55	1,833
7	2014	68	63	63,64	1,799
8	2015	74	58	72,73	1,763
9	2016	55	55	81,82	1,740
10	2017	55	55	90,91	1,740
	X rerata		=	1,860	
	SD		=	0,10769	
	Cs		=	0,58769	
	n	=	10		
	Kn	=	2,036	(tabel)	

Sumber : Hasil Analisis

Dari hasil uji *outlier* sebagaimana diuraikan di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak ada data yang perlu dihilangkan. Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Tipe III

## 4.1.4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Tipe III

Tahapan - tahapan perhitungan curah hujan rancangan menggunakan metode Log Pearson Tipe III, adalah sebagai berikut:

- a. Mengurutkan data curah hujan rerata dari nilai terbesar ke terkecil.
- b. Menghitung nilai rerata curah hujan dalam logaritma
- c. Menghitung simpangan baku (Sd) dan koefisien kepencengan (Cs) sebagai berikut:
  - Simpangan baku (Sd)

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\log xi - \overline{\log x}\right)}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\left(-0.13\right) + \left(-0.08\right) + \left(-0.05\right) + \dots + 0.15\right)}{\left(10-1\right)}} = 0.08$$

Koefisien kepencengan (Cs)

$$= \frac{n\sum_{i=1}^{n} \left(\log xi - \overline{\log x}\right)^{3}}{(n-1)(n-2)(Si)^{3}}$$

$$= 10 \times \frac{\left(\left(-0.0021208\right) + \left(-0.0004586\right) + \left(-0.0001605\right) + \dots + 0.0034678\right)}{\left(10-1\right) \times \left(10-2\right) \times \left(0.110\right)^{3}}$$

$$= 0.317$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.5 Perhitungan Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Type III

No.	Tahun	Xi (mm)	P (%)	Log Xi	Log Xi-Log X	(Log Xi-Log X) <sup>3</sup>
1	2016	55	9,091	1,740	-0,120	-0,001726
2	2017	55	18,182	1,740	-0,120	-0,001726
3	2012	58	27,273	1,763	-0,097	-0,000910
4	2011	63	36,364	1,799	-0,061	-0,000227
5	2014	68	45,455	1,833	-0,028	-0,000022
6	2008	74	54,545	1,869	0,009	0,000001
7	2015	74	63,636	1,869	0,009	0,000001
8	2009	86	72,727	1,934	0,074	0,000408
9	2010	103	81,818	2,013	0,153	0,003548
10	2013	110	90,909	2,041	0,181	0,005937
Jur	nlah	746,000		18,603		
Rerata		74,600		1,860		
Stand	d. Dev	19,472		0,108		

Sumber: Hasil Perhitungan

d. Menghitung besarnya curah hujan rancangan untuk kala ulang yang telah ditentukan, dengan memasukkan harga rerata log X, yaitu sebesar 1,86 dan nilai K diperoleh dari tabel (untuk kala ulang 5 tahun dan Cs = 0,588, nilai K adalah 0,801), serta nilai Sd = 0,108 ke dalam perhitungan berikut:

$$\log X_{T} = \overline{\log x} + (K \times Sd)$$

$$= 1,86 + (0,588 \times 0,108)$$

$$= 1,947$$

$$X_{T} = 88,425 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15 Perhitungan Curah hujan Rancangan

No	Tr	Rrata- rata	Std Deviasi	Kemencengan	Peluang	K		Hujan angan
	(tahun)	(Log)	(log)	(Cs)	(%)		Log	mm
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	2	1,860	0,108	0,588	50,000	-0,097	1,850	88,425
2	5	1,860	0,108	0,588	20,000	0,801	1,947	111,408
3	10	1,860	0,108	0,588	10,000	1,327	2,003	117,150
4	20	1,860	0,108	0,588	5,000	1,733	2,047	129,933
5	25	1,860	0,108	0,588	4,000	1,935	2,069	143,247
6	50	1,860	0,108	0,588	2,000	2,353	2,114	157,178
7	100	1,860	0,108	0,588	1,000	2,747	2,156	192,682

Sumber: Hasil Perhitungan

### 4.1.5. Uji Distribusi Frekuensi

Untuk mengetahui apakah pemilihan distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rancangan diterima atau ditolak, maka perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi. Uji ini dilakukan secara horisontal dengan menggunakan Metode Smirnov Kolmogorof dan vertikal dengan menggunakan Metode Chi Square.

## 4.1.5.1. Uji Smirnov Kolmogorof

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung peluang empiris dengan memasukkan nomor data, mulai dari data terbesar sampai data terkecil dengan persamaan :

$$Sn = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

Contoh pada nomor urut 1:

Pe 
$$= \frac{m}{n+1} \times 100\%$$
$$= \frac{1}{10+1} \times 100\%$$
$$= 9,10\%$$
$$= 0,09$$

2. Mencari nilai log dari data hujan harian maksimum

$$\log 110 = 2,041$$

3. Menghitung nilai G dengan persamaan:

$$\log xi = \overline{\log x} + (G \times Si)$$

$$K = \left(\frac{\log xi - \overline{\log x}}{Si}\right)$$

$$= \left(\frac{2,041 - 1,89}{0,08}\right) = 1,887$$

- 4. Mencari harga Pt melalui Tabel Distribusi Pearson III, diperoleh Pt = 0,04
- 5. Menghitung selisih Pe(x) dan Pt(x) dengan persamaan :

$$\Delta = |Pe(x) - Pt(x)|$$
  
=  $|0.09 - 0.04| = 0.05$ 

6. Mencari nilai  $\Delta_{Cr}$  kemudian dibandingkan dengan  $\Delta_{maks}$ 

Diperoleh  $\Delta_{Cr}$  untuk  $\alpha = 5\%$  adalah 0,410 dan  $\Delta_{maks}$  adalah 0,05. Karena  $\Delta_{maks} < \Delta_{Cr}$ , maka data dapat diterima. Untuk perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perhitungan Uji Smirnov Kolmogorof

No	Tahun	X	P	Log X	K	Pr	D [P-Px]
		(mm)	(%)			(%)	
1	2013	110	0,091	2,041	1,681	0,048	0,043
2	2010	103	0,182	2,013	1,416	0,087	0,095
3	2009	86	0,273	1,934	0,689	0,237	0,035
4	2008	74	0,364	1,869	0,083	0,440	0,076
5	2015	74	0,455	1,869	0,083	0,440	0,015
6	2014	68	0,545	1,833	-0,258	0,564	0,018
7	2011	63	0,636	1,799	-0,566	0,685	0,049
8	2012	58	0,727	1,763	-0,900	0,812	0,085
9	2016	55	0,818	1,740	-1,114	0,875	0,056
10	2017	55	0,909	1,740	-1,114	0,875	0,035

Mean Log X (Log Xr) = 1,860

Std. Dev Log X = 0,108

Cs Log X = 0,588

Delta P maks (%) = 0,095

Der. Signifikan a (%)

Banyak data = 10

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.11 Rekapitulasi Uji Smirnov Kolmogorof

α	Δkritis	Δmax	Ket
0.2	0.32	0.095	Diterima
0.1	0.37	0.095	Diterima
0.05	0.41	0.095	Diterima
0.01	0.49	0.095	Diterima

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa nilai  $D_{kritis} > D_{max}$ , dengan demikian maka distribusi Log Pearson yang digunakan dapat diterima.

## 4.1.5.2. Uji Chi – Square

Uji ini digunakan untuk uji kesesuaian vertikal dari data. Uji ini didasarkan pada perbedaan nilai ordinat teoritis dan ordinat empiris.

$$X^{2}hit = \frac{(Oi - Ei)^{2}}{Ei}$$

 $X^2$ hit : harga Chi – Square

O<sub>i</sub> : ordinat empiris

E<sub>i</sub> : ordinat teoritis

Dengan persamaan di atas, maka urutan pengerjaannya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan banyak kelas dengan perhitungan sebagai berikut:

Banyak kelas = 
$$1 + 3,22 \log n$$
  
=  $1 + 3,22 \log 10$ 

Banyak kelas =  $4,22 \approx 4$  dengan n adalah jumlah data

2. Menentukan batas kelas dengan memasukkan nilai Sd yaitu 0,11 dan Cs yaitu 0,59 ke dalam persamaan berikut:

$$\log xi = \overline{\log x} + (G \times Si)$$

Dengan nilai G untuk P = 75 % adalah -0,752, maka:

log xi = 
$$1.86 + (0.11 \times (-0.66))$$
  
=  $1.78$   
xi =  $60.33$ 

3. Menghitung frekuensi yang diharapkan (Ej) dengan perhitungan sebagai berikut:

Ej 
$$=\frac{n}{k}=\frac{10}{4}=2.5$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Perhitungan Uji Chi – Square

No.	Pr	K	Log X	X	Batas Kelas	Oi	Ei	(Oi-Ei) <sup>2</sup> /Ei
1	75	-0,74	1.78	60,33	$X \le 60,33$	3	2.5	0.1
2	50	-0,10	1.85	70,67	68.053 < X < 70,67	2	2.5	0.1
3	25	0,66	1.93	85,37	70,67< X < 85,37	2	2.5	0.1
4					X ≥ 85,37	3	2.5	0.1
					Jumlah	10	10	0.4

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga diperoleh:

- $x^2$  hitung = 0.40
- Dari tabel Chi Square, diperoleh  $x^2$  cr = 3,84 untuk v (derajat kebebasan) = 4 -1 = 3, dan  $\alpha$  = 5%.

Nilai  $x^2$  hitung  $< x^2$ cr, dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa data memenuhi uji Chi Square.

## 4.1.6. Intensitas hujan selama durasi waktu konsentrasi setiap kala ulang

#### 4.1.6.1. Waktu Konsentrasi

Dalam menentukan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari suatu titik terjauh dari DAS hingga titik pengamatan aliran atau disebut waktu konsentrasi yang diasumsikan dengan Tc. Bila lama waktu hujan sama dengan Tc berarti seluruh bagian DAS tersebut telah ikut berperan untuk terjadinya aliran air yang sampai ke titik pengamatan.

Salah satu teknik untuk menghitung Tc yang paling umum dilakukan adalah persamaan matematik, dengan langkah sebagai berikut:

$$To = \left[ \frac{2}{3} \times 3.28 \times Lx \frac{n}{\sqrt{S}} \right] menit$$

$$To = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}}\right] \text{menit}$$

$$To = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times 33.98 \times \frac{0.064}{\sqrt{0.049}}\right] \text{menit} = 15,613 \text{ menit} = 0,260 \text{Jam}$$

Untuk menghitung Td, digunakan data panjang dan kemiringan sungai, sehingga:

$$Td = \frac{L_{\text{sungai}}}{60V} \text{ menit, dimana } V = 4,918.S^{1/2}$$

Maka, kecepatan aliran :  $V = 4.918 \times 0.01^{1/2} = 0.4916$  m/detik

$$Td = \frac{3570}{60 \times 0,4916} = 29,2502 \text{ menit} = 0,4875 \text{ jam}$$

Tc = To + Td  
= 
$$0.260 + 0.4875$$
  
=  $0.747 \text{ jam} \approx 1 \text{ jam}$ 

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka diperoleh Tc (waktu konsentrasi) di Sub DAS tersebut sebesar 1 jam.

### 4.1.6.2.Intensitas Hujan/Rainfall Intensity

Sebagai data input hujan untuk menjalankan program SWMM dala analisa ini dibutuhkan besar intensitas hujan masing-masing kala ulang yang disimulasikan, dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c}\right)^{\frac{2}{3}}$$

## Dengan:

I = Intensitas curah hujan rerata dalam T jam (mm/jam)

R<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

Tc = Waktu Konsentrasi atau waktu tiba banjir (jam)

Pada analisa perhitungan didapatkan nilai waktu tiba banjir sebesar 1 jam sehingga didapatkan besar intensitas hujan untuk masing-masing kala ulang tersebut, disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Besar Hujan Rancangan untuk masing-masing kala ulang

No	Jam ke	Rasio	Hujan Jam-jaman ( mm )						
			2	5	10	20	25		
1	1,0	0,550	36,302	45,737	48,095	53,343	58,808		
2	2,0	0,143	9,436	11,888	12,501	13,865	15,286		
3	3,0	0,100	6,619	8,339	8,769	9,726	10,722		
4	4,0	0,080	5,269	6,639	6,981	7,743	8,536		
5	5,0	0,067	4,450	5,606	5,895	6,538	7,208		
6	6,0	0,059	3,890	4,901	5,153	5,715	6,301		
Hujan	Hujan rancangan (mm)			111,408	117,150	129,933	143,247		
Koefisien Pengaliran			0,746	0,746	0,746	0,746	0,746		
Hujan	Efektif (mr	n)	65,965	83,110	87,394	96,930	106,862		

Sumber: Hasil Analisis

### 4.2. Analisis Limpasan Keruangan

Analisis limpasan pada studi ini menggunakan bantuan software SWMM 5.1. Selain limpasan, produk keluaran program ini adalah infiltrasi. Dalam analisa ini, dilakukan 2 (dua) simulasi / running, yakni untuk kondisi tata guna lahan eksiting dan tata guna lahan rencana.

### 4.3. Analisa Peta

Sebelum melakukan analisis limpasan berdasar curah hujan, dibuat peta studi pada SWMM 5.1 seperti pada gambar 4.1. berdasarkan peta topografi, peta jaringan drainase eksisting dan hasil peninjauan lokasi, diperoleh data sub daerah tangkapan yang ditampilkan pada Tabel 4.17. kemudian dilakukan input data pada *software SWMM*.

Gambar 4.2. Hasil penggambaran peta wilayah studi pada SWMM

BRAWIJAYA

Tabel 4.17. Data Sub Daerah Tangkapan Air (Parameter Masukan SWMM

No.	Sub DTA	A (m <sup>2</sup> )	A (ha)	% kedap	A <sub>kedap</sub> (	A <sub>porus</sub>	Lebar (m)	% kemiringan	n kedap	n porus
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(1)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	<b>S</b> 1	3.890,44	0,39	47,49	1.847	2.043	67	0,0011	0,017	0,24
2	S2	6.542,69	0,65	28,24	1.848	4.695	97	0,0011	0,011	0,24
3	<b>S</b> 3	5.580,48	0,56	23,81	1.329	4.252	72	0,0011	0,011	0,24
4	S4	9.116,59	0,91	92,10	8.397	720	99	0,0011	0,020	0,06
5	S5	7.650,42	0,77	23,95	1.833	5.818	88	0,0011	0,016	0,24
6	<b>S</b> 6	6.592,65	0,66	28,78	1.897	4.695	90	0,0011	0,011	0,24
7	<b>S</b> 7	4.103,10	0,41	16,80	689	3.414	68	0,0011	0,011	0,24
8	S8	3.706,11	0,37	48,89	1.812	1.894	62	0,0011	0,018	0,21
9	<b>S</b> 9	2.990,88	0,30	68,35	2.044	947	54	0,0011	0,019	0,24
10	S10	4.949,25	0,49	29,27	1.449	3.501	78	0,0011	0,011	0,24
11	S11	5.905,59	0,59	66,78	3.944	1.962	80	0,0011	0,018	0,24
12	S12	39.299,38	3,93	96,94	38.095	1.204	280	0,0086	0,016	0,06
13	S13	4.417,79	0,44	81,25	3.589	829	85	0,0011	0,019	0,24
14	S14	1.851,88	0,19	35,51	658	1.194	52	0,0011	0,011	0,24
15	S15	4.748,00	0,47	45,67	2.168	2.580	75	0,0011	0,013	0,24

Sumber: Hasil Analisa

## 4.4. Limpasan pada Kondisi Penggunaan Lahan Eksisting (Tahun 2018)

Pada tahapan ini, dilakukan simulasi kondisi drainase eksisting dengan masukan hujan kala ulang 5 tahun. Salah satu keluaran SWMM yang menjadi kajian pada studi ini adalah infiltrasi dan limpasan permukaan (*Surface RunOff*).

Konsep limpasan permukaan yang digunakan oleh SWMM telah diilustrasikan pada Gambar 2.13. Setiap permukaan *subcatchment* diasumsikan sebagai tampungan nonlinear. Curah hujan adalah *inflow* dan *outflow* diantaranya adalah infiltrasi, dan limpasan permukaan. Sedangkan untuk pemodelan infiltrasi pada SWMM, dipilih metode Horton (persamaan 2.62), yang mengasumsikan infiltrasi berkurang secara eksponensial dari laju maksimum awal ke laju infiltrasi konstan. Hasil simulasi limpasan permukaan pada tiap sub daerah tangkapan air (*subcatchment*) selengkapnya ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.18. Hasil Simulasi Limpasan Permukaan Tiap Sub Daerah Tangkapan Air Kondisi Eksisting

Subcatchment	Total Infiltrasi	Total Limpasan	Tot Limpasan	Puncak Limpasan
	(mm)	(mm)	10^6 ltr	m <sup>3</sup> /dt
S1	16.40	85.11	0.49	0.02
S2	20.87	80.79	0.53	0.04
S3	19.24	75.97	0.78	0.06
S4	2.53	107.15	0.98	0.10
S5	22.12	75.61	0.58	0.04
S6	20.71	80.26	0.53	0.04
S7	24.20	75.67	0.31	0.02
<b>S</b> 8	14.86	92.43	0.34	0.03
<b>S</b> 9	9.20	99.88	0.30	0.03
S10	20.57	81.88	0.40	0.03
S11	9.66	75.53	0.45	0.05
S12	0.94	109.22	4.29	0.57
S13	25.40	54.04	0.24	0.01

Sumber: Hasil Analisa

## 4.5. Limpasan pada Kondisi Penggunaan Lahan Rencana

Untuk mengetahui debit limpasan akibat perubahan tata guna lahan khususnya sebagai akibat pembangunan perumahan dalam lokasi studi ini, maka dilakukan simulasi berdasarkan kondisi penggunaan lahan sesuai rencana pengembangan perumahan yang tertuang di dalam *lay out* perumahan.

Dari hasil simulasi yang ditampilkan pada Tabel 4.18, selanjutnya dibandingkan dengan simulasi kondisi eksisiting, dan dituangkan pada Tabel 4.19.

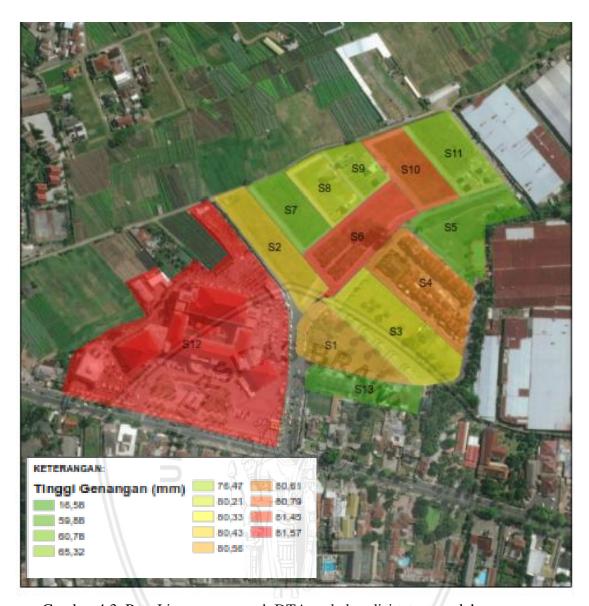
Tabel 4.19. Hasil Simulasi Limpasan Permukaan Per Sub Daerah Tangkapan Air Kondisi Tutupan Lahan Rencana

Subcatchment	Total	Total	Total	Puncak
		Limpasan	Limpasan	Limpasan

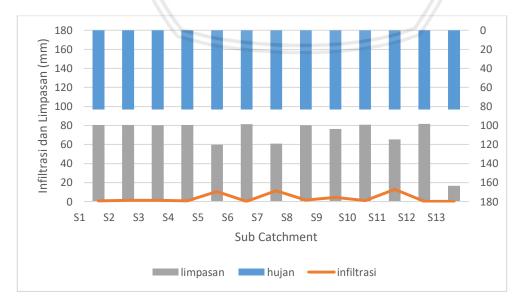
	Infiltrasi			
	(mm)	(mm)	10^6 ltr	M³/dt
S1	0.68	108.85	0.68	0.06
S2	1.24	108.74	1.24	0.09
S3	1.24	108.63	1.24	0.08
S4	0.79	108.89	0.79	0.10
S5	10.52	86.60	10.52	0.04
S6	0.08	109.77	0.08	0.09
S7	11.51	87.97	11.51	0.02
S8	1.65	108.51	1.65	0.05
S9	4.38	104.69	4.38	0.03
S10	0.94	109.10	0.94	0.07
S11	12.95	93.30	12.95	0.03
S12	0.27	109.90	0.27	0.57
S13	0.06	22.33	0.06	0.01

Sumber : Hasil Analisa





Gambar 4.3. Peta Limpasan per sub DTA pada kondisi tata guna lahan rencana



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Hujan-Infiltrasi-Limpasan

Dari gambar tersebut dapat dilihat limpasan dan infiltrasi tertinggi pada sub DTA 12, yakni sub DTA *block office*.

Tabel 4.19. Perbandingan Hasil Simulasi Limpasan Kondisi Eksiting dan Rencana

Subcatchment	Puncak	Puncak	Perubahan
	Limpasan	Limpasan	(%)
	m <sup>3</sup> /dt	M <sup>3</sup> /dt	(+/-)
S1	0.02	0.06	60,00
S2	0.04	0.09	80,00
S3	0.06	0.08	20,00
S4	0.10	0.10	20,00
S5	0.04	0.04	20,00
S6	0.04	0.09	80,00
S7	0.02	0.02	0,00
S8	0.03	0.05	20,00
<b>S</b> 9	0.03	0.03	0,00
S10	0.03	0.07	60,00
S11	0.05	0.03	40,00
S12	0.57	0.57	0,00
S13	0.01	0.01	20,00

Sumber: Hasil Analisa

Dari tabel di atas dapat dievaluasi bahwa pembangunan *block office* dan perumahan batu panorama mengakibatkan peningkatan debit *run off* (limpasan permukaan). Debit tersebut dialirkan ke saluran drainase utama dan tentu saja menambah beban tampungan drainase utama/sungai. Hal ini belum sesuai dengan konsep *zero run off* Pusat Litbang Permukiman tahun 2012, bahwa penerapan drainase suatu kawasan terbangun mengalirkan air limpasan ke luar kawasan hingga nol persen atau *zero run off*. Oleh karena itu, dengan pertimbangan bahwa pada lokasi studi ini mempunyai atap dan persil yang luas, dapat dirumuskan suatu metoda konservasi air sekaligus penerapan konsep *zero run off* dengan menggunakan imbuhan air tanah buatan melalui sumur resapan dan kolam retensi.

### 4.6. Analisis Konservasi Air Dengan Sumur Resapan dan Kolam Retensi

#### 4.6.4. Permeabilitas Tanah

Dalam merencanakan sistem pemanenan air hujan tipe resapan, tidak bisa lepas dari faktor permeabilitas tanah yang menggambarkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Kriteria nilai permeabilitas tanah yang telah ditentukan oleh Kementerian PU untuk merencanakan sistem pemanenan air hujan (PAH) tipe resapan adalah 2 cm/jam.

Berdasarkan hasil penelitian Balitbang Tanah (2004: 4-49) keadaaan permeabilitas di Desa Songgokerto, adalah sedang (0,5 – 2,0 cm/jam). Berdasarkan peta jenis tanah, untuk jenis tanah di lokasi studi adalah berliat di atas berpasir. Maka, untuk perencanaan dalam studi ini, digunakan nilai Koefisien permeabilitas tanah 2 cm/jam.

### 4.6.5. Analisis Konservasi Air Pada Perumahan

Analisis yang dibuat sehubungan dengan penataan suatu kawasan DAS akan terdiri dari analisis limpasan permukaan, perhitungan imbuhan alami dan perhitungan imbuhan buatan yang merepresentasikan bangunan konservasi air.

Pada studi ini, sumur resapan direncanakan seragam di semua titik. Berjenis sumur resapan dalam (kolektif) dengan bentuk lingkaran. Hasil pengamatan sumur warga di sekitar lokasi, kedalaman muka air tanah adalah variatif antara 5-7 m dan konstruksi dinding terbuat dari buis beton. Penempatan sumur resapan kolektif berada pada lokasi dengan elevasi terendah dari daerah tadah, dengan memperhatikan kriteria jarak dengan bangunan lainnya.

Secara teoritis, untuk menghitung volume dan efisiensi sumur resapan berdasar atas prinsip keseimbangan air yang masuk ke sumur dan air yang meresap ke dalam tanah (Sunjoto, 2002). Dalam merencanakan dimensi dari sumur resapan, perencana sangat perlu memperhatikan:

- Luas daerah tadah
- Koefisien permeabilitas tanah
- Ketinggian muka air tanah
- Intensitas hujan

Dalam pembangunan sumur resapan, air yang dimasukkan dalam sumur resapan adalah air hujan. Dengan demikian, luas area tadah yang dimaksud adalah luas atap rumah. Adapun luas atap rumah di perumahan bervariasi sesuai type dan desain rumah. Pada contoh perhitungan ini diambil nilai  $A_{Tadah} = 100 \text{ m}^2$ , dengan  $C_{atap}$  adalah 0,90.

Dengan hujan rencana kala ulang 5 tahun sebesar 111,408 mm/jam, maka intensitas hujan adalah

$$I = \frac{R_{24}}{24} x \left(\frac{24}{Te}\right)^{2/3}$$

$$T_e = 0.9 R^{0.92/60}$$

$$= 0.90 x (111,408)^{0.92/60}$$

$$= 1,146 \text{ jam}$$

$$I = \frac{111,408}{24} x \left(\frac{24}{1,146}\right)^{2/3} = 35,30 \text{ mm/jam} = 0,0353 \text{ m/jam}$$

1. Faktor geometri sumur, F

$$L = 2 m$$

$$k = 2 \text{ cm/jam} = 0.02 \text{ m/jam}$$

$$H = 5 m$$

$$r = 0.50 \text{ m}$$

$$T = 1,146 \text{ jam}$$

$$F = \frac{2\pi L + 2\pi R L n(2)}{Ln\left[\frac{L+2R}{2R}\right] + \sqrt{1 + \left[\frac{L}{2R}\right]^2}}$$

$$F = \frac{(2\pi x 2) + (2\pi x 0,50 x Ln(2))}{Ln\left[\frac{2+2(0,50)}{2 x 0,50}\right] + \sqrt{1 + \left[\frac{2}{2 x 0,5}\right]^2}} = 8,909$$

2. Menghitung debit limpasan atap (Qatap)

Q = CIA  
= 
$$0.90 \times 0.0472 \times 100$$
  
=  $4.248 \text{ m}^3/\text{jam}$   
=  $0.00118 \text{ m}^3/\text{detik}$ 

3. Menghitung kedalaman sumur rencana dengan  $Q_{atap} = 4,248 \text{ m}^3/\text{jam}$ 

$$H = \frac{Q}{FK} \left\{ 1 - e \left( \frac{-FKT}{\pi R^2} \right) \right\}$$

$$= \frac{4,248}{8,909 \times 0.02} \left\{ 1 - e \left( \frac{-8,909 \times 0.02}{\pi R(0.6)^2} \right) \right\} = 5,49 \text{ m}$$

4. Menghitung kemampuan sumur resapan untuk 1 atap rumah

Direncanakan sumur resapan dengan kedalaman 5 meter, maka:

$$n = \frac{H_{analisa}}{H_{rencana}}$$
$$= \frac{5,49}{5}$$
$$= 1,08 \approx 1 \text{ buah}$$

Artinya adalah tiap satu rumah dengan luasan atap  $100 \, \text{m}^2$ , membutuhkan 1 (satu) sumur resapan dengan kedalaman 6 meter dan diameter 0,50 meter, berlaku bila terjadi hujan dengan intensitas,  $I = 47,20 \, \text{mm/jam}$  dengan waktu hujan efektif,  $Te = 1,146 \, \text{jam}$ .

Selanjutnya untuk menghitung kebutuhan sumur untuk lokasi studi, dilakukan perhitungan masing-masing blok. Karena tiap atap rumah di lokasi studi mengikuti type rumah, maka penetapan jumlah sumur resapan pada perumahan mengikuti kriteria penempatan sumur resapan sebagaimana tercantum pada persyaratan teknik sumur resapan. Berikut hasil perhitungan kebutuhan sumur resapan.

Tabel 4.20. Tabel Perhitungan jumlah sumur tiap sub DTA pada perumahan

No.	Sub DTA	Luas Tadah (m²)	Catap	Jumlah Sumur
1	S1	840	0.90	5
2	S2	2800	0.90	17
3	S3	2880	0.90	17
4	S4	1740	0.90	10
5	S5	720	0.90	4
6	<b>S</b> 6	3120	0.90	18
7	<b>S</b> 7	2280	0.90	13
8	S8	1680	0.90	10
9	<b>S</b> 9	1300	0.90	8
10	S10	1700	0.90	10
11	S11	2015	0.90	12
12	S13	1800	0.90	11

Sumber: Hasil Analisa

Untuk debit limpasan selain dari atap, direncanakan kolam retensi yang letaknya pada saluran utama pada drainase internal perumahan. Adapun tahapan perhitungannya sebagai berikut:

## Menghitung debit limpasan non atap

a. Q<sub>limpasan jalan (paving)</sub> pada sub DTA 1

C = 0.70

I = 0.0353 m/jam

 $A_{jalan(paving)} = 1697,67 \text{ m}^2$ 

Q = CIA

 $= 0.90 \times 0.0353 \times 1697.67$ 

 $= 0.012622 \text{ m}^3/\text{detik}$ 

Dengan langkah yang sama, dilakukan perhitungan untuk tutupan lahan yang lain dan kemudian dibuat tabel perhitungan pada Tabel 4.20 berikut:

Tabel 4.20. Perhitungan Limpasan Permukaan Non Atap per Sub DTA

No.	Sub DTA	A <sub>non atap</sub> (m <sup>2</sup> )		Koef. Limpasan C		Qlimp
		jalan paving	RTH	Cpaving	$C_{RTH}$	(m3/dt)
1	S1	1.697,67	141,24	0,7	0,35	0,0121
2	S2	1.847,84	5,87	0,7	0,35	0,0127
3	S3	3.191,34	36,07	0,7	0,35	0,0220
4	S4	2.879,38	14,40	0,7	0,35	0,0198
5	S5	1.186,23	821,27	0,7	0,35	0,0110
6	<b>S</b> 6	1.897,47	23,48	0,7	0,35	0,0131
7	S7	689,19	7,60	0,7	0,35	0,0048
8	S8	836,51	8,86	0,7	0,35	0,0058
9	<b>S</b> 9	745,22	7,47	0,7	0,35	0,0051
10	S10	1.448,50	168,63	0,7	0,35	0,0105
11	S11	1.939,59	12,00	0,7	0,35	0,0134
13	S13	1.382,24	602,00	0,7	0,35	0,0116
TOTAL					0,1418	

Sumber: Hasil Analisa

Agar terpenuhi konsep *zero run off*, maka direncanakan kolam retensi untuk debit limpasan non atap dengan kala ulang 5 tahunan sebesar 0,1418 m³/dt dengan durasi hujan efektif 1,146 jam:

 $V = 0.1418 \times 60 \times 60 \times 1.146$ 

 $= 582,1489 \text{ m}^3$ 

Untuk dapat menampung volume limpasan sebesar  $582,1489~\text{m}^3$  dan diasumsikan semua limpasan dapat dimasukkan ke dalam kolam, maka direncanakan dimensi kolam retensi untuk di perumahan Batu Panorama adalah  $15 \times 20 \times 2$  meter.

Kolam ini direncanakan diletakkan di area dengan elevasi paling rendah agar memudahkan air mengalir secara gravitasi. Selain itu, melihat ketersediaan lahan di perumahan, maka kolam retensi ini diletakkan pada area club house.

### 4.6.6. Analisis Konservasi Air pada kantor Block Office

Pada studi ini, perhitungan pada di gedung *Block Office* dibuat lebih detail, mengingat tipologi bangunan yang berbeda dengan perumahan.

Besaran luas atap gedung dapat dilihat dalam Tabel 4.49.

Tabel 4.20. Luasan Atap Gedung Block Office

No.	Nama Gedung	Luas Atap (m²)
1.	Gd A.	2962,16
2.	Gd B	3375,00
3.	Gd C	1753,00
4.	Graha pancasila	1231,20
5.	Masjid	386,60

Sumber: Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman, dan Pertanahan Kota Batu, 2014

Dengan luas atap tersebut, dihitung volume limpasan atap yang terjadi, kemudian jumlah sumur yang dibutuhkan. Adapun langkah-langkah perhitungan sebagaimana pada sub bab sebelumnya.

Tabel 4.21. Perhitungan Volume Hujan Atap

No.	Nama Gedung	V limp. atap (m³)
1.	Gd A.	86,29
2.	Gd B	98,32
3.	Gd C	51,07
4.	Graha pancasila	35,87
5.	Masjid	11,26

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 4.22. Tabel Perhitungan jumlah sumur tiap gedung pada kantor *Block Office* 

No.	Sub DTA	Luas Tadah (m²)	$\mathbf{C}_{ ext{atap}}$	Jumlah Sumur
1	Gedung A	840	0.90	5
2	Gedung B	2800	0.90	17
3	Gedung C	2880	0.90	17
4	Gedung Graha Pancasila	1740	0.90	10
5	Masjid	720	0.90	4

Sumber: Hasil Analisa

BRAWIJAY

Penempatan sumur resapan direncanakan diletakkan di bawah outlet talang pada gedung. Hal ini dimaksudkan agar air atap yang terbuang melalui talang bisa langsung ditangkap oleh sumur resapan. Selain itu, dapat diharapkan dapat memangkas waktu pengaliran di saluran.

Adapun limpasan yang terjadi pada lahan non atap akan dialirkan melalui drainase internal, dan dimasukkan ke dalam kolam retensi.

Luas Paving = 22.479,90

C paving = 0.7

Dengan rumus rasional, dihitung Q limpasan =  $0.1584 \text{ m}^3/\text{dtk}$ 

Untuk debit limpasan non atap dengan kala ulang 5 tahunan sebesar 0,1584 m³/dt dengan durasi hujan efektif 1,146 jam:

 $V = 0.1584 \times 60 \times 60 \times 1.146$ 

 $= 650,215 \text{ m}^3$ 

Untuk mengatasi limpasan sebesar 650,215 m³, direncanakan kolam retensi untuk di kantor *block office* adalah 10 x 10 x 4 meter sebanyak 2 (dua) buah dan peletakannya di area terendah block office, yakni dibangun di bawah area parkir.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil kajian dan pembahasan pada ini, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Sesuai dengan analisis limpasan secara keruangan berdasarkan kala ulang 5 tahunan dengan menggunakan software SWMM 5.1 pada daerah studi menunjukkan bahwa: pada kondisi eksisting, limpasan keruangan dengan kala ulang 5 tahunan adalah 0,6 m³/dt; pada kondisi rencana, limpasan keruangan dengan kala ulang 5 tahunan adalah 0,8 m³/dt. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan debit limpasan sebesar 40%. Hal ini disebabkan adanya perubahan tata guna lahan yang semula lahan terbuka menjadi perumahan dan fasilitasnya.
- 2) Mengingat adanya keterbatasan ruang di lokasi yang terbangun, serta memperhatikan persyaratan teknis pembangunan sarana pemanenan air hujan, maka bangunan konservasi air yang direkomendasikan adalah type resapan berupa sumur resapan dan kolam retensi.
  - a. Bangunan resapan di block office

Sumur resapan digunakan untuk limpasan hujan atap diameter 1 meter dan kedalaman 5 meter dengan jumlah total 53 buah. Adapun lokasi pembangunan sumur resapan terlampir. Sementara itu untuk limpasan non atap digunakan kolam retensi yang dibangun di bawah area parkir sebelah timur. Kolam ini dibuat sebanyak 2 buah. Dimensi kolam retensi adalah panjang 10 meter, lebar 10 meter dan kedalaman 4 meter.

b. Bangunan resapan di perumahan Batu Panorama

Sumur resapan digunakan untuk limpasan hujan atap, sumur yang digunakan mempunyai diameter 1 meter dan kedalaman 5 meter dengan jumlah total 135 buah. Adapun lokasi pembangunan sumur terlampir. Sementara itu untuk limpasan non atap digunakan kolam retensi yang dibangun di area club house. Kolam ini dibuat sebanyak dengan dimensi panjang 15 meter, lebar 20 meter dan kedalaman 2 meter.

68

#### 5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat penulis berikan terkait dengan hasil analisis pada kajian ini adalah:

- 1) Pihak pengembang perumahan harus menyediakan lahan yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan air hujan baik dengan sumur resapan di tiap rumah maupun dengan sarana penyimpanan air hujan (detensi) komunal sebagai upaya untuk konservasi air.
- 2) Mengingat pentingnya upaya konservasi air, pemerintah daerah hendaknya menerapkan kebijakan pembuatan sumur resapan ataupun bangunan pemanenan air hujan yang bersifat individu maupun komunal, terutama bagi pihak yang mengajukan ijin mendirikan bangunan serta perlu adanya monitoring dan evaluasi pasca pendirian bangunan.
- 3) Peraturan daerah yang memuat tentang upaya konservasi air hendaknya memuat rumusan tentang konsep zero run off disesuaikan dengan kondisi dan tipologi masingmasing wilayah sehingga diharapkan perubahan lahan akibat pembangunan perumahan tidak menimbulkan permasalahan limpasan.
- 4) Untuk peneliti selanjutnya, dapat dilakukan analisis atau pemodelan menggunakan software lain sehingga hasil dari penelitian ini dapat dibandingkan untuk mengetahui keakuratan pendekatan teoritis dan kemudian dapat dijadikan rule model untuk lokasi lain. Selain itu, dapat diteliti lebih lanjut penerapan teknologi konservasi air lainnya dalam rangka pemenuhan konsep zero run off.